

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Mariusz Lipus

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**Návrh a implementace 3D vizualizace
v medicínských aplikacích**

Design and implementation of 3D visualization in
medical applications

2017

Mariusz Lipus

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Mariusz Lipus**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik
Téma: **Návrh a realizace 3D vizualizace v medicínských aplikacích**
Design and Implementation of 3D Visualization in Medical Applications
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s problematikou biologických signálů a anatomie.
2. Seznámení se s možnostmi vizualizace prostorových objektů.
3. Návrh metody trojrozměrné vizualizace medicínských dat.
4. Realizace vizualizace zvoleného objektu nebo dat.
5. Provedení měření a testů.
6. Zhodnocení dosažených výsledků závěrečné práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] FRADEN, Jacob. *Handbook of modern sensors : physics, designs, and applications*. 4th ed. New York: Springer, c2010, xv, 663 s. ISBN 978-1-4419-6465-6.
- [2] OLANSEN, Jon B a Eric ROSOW. *Virtual bio-instrumentation: biomedical, clinical, and healthcare applications in LabVIEW*. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, c2002, xxv, 571 s. ISBN 0-13-065216-4.
- [3] PEREZ, Reinaldo. *Design of medical electronic devices*. San Diego: Academic Press, c2002, xi, 279 s. ISBN 0-12-550711-9.
- [4] WEBSTER, John G a John W CLARK. *Medical instrumentation: application and design*. 3rd ed. Hoboken: Wiley, c1998, xix, 691 s. ISBN 0-471-15368-0.
- [5] CARR, Joseph J a John M BROWN. *Introduction to biomedical equipment technology*. 4th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, c2001, xv, 743 s. ISBN 0-13-010492-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Marek Penhaker, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Datum: 28.4.2017

Mariusz Lipus
Mariusz Lipus

Poděkování

Chtěl bych poděkovat doc. Ing. Marku Penhakerovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, cenné rady a odborný dohled. Mé poděkování patří též MUDr. Františku Jurkovi za spolupráci při praktické realizaci.

Abstrakt

Tato bakalářská práce je soustředěna na vektorkardiografii, kdy úkolem je vizualizovat výslednou vektorkardiografickou křivku, vektorkardiogram nebo více vektorkardiogramů v jednom obraze ve vytvořené aplikaci na počítači. V aplikaci je možnost zobrazení pouze jednotlivých částí, ale také celého vektorkardiogramu. Pro lepší odlišení aplikace barevně rozlišuje jednotlivé části. Druhou částí je testování zvolené 3D vizualizace na mobilu Sony Xperia Z3, kdy obraz vektorkardiogramů je zrcadlen do mobilu pomocí vybrané aplikace a mobil je zasunut do brýlí Google Cardboard a Quantum Bee VR S, umožňující zvolenou 3D vizualizaci.

Klíčová slova

Vektorkardiografie, 3D tisk, 3D stereoskopické zobrazení, virtuální realita, brýle pro virtuální realitu.

Abstract

This bachelor thesis is focused on vectorcardiography, whose goal is visualizing the final result, vectorcardiogram, or more vectorcardiograms in one image using a computer application. It distinguishes the parts by using different colors, visualizing of certain parts is possible as well. Second part deals with testing the chosen 3D visualization method on Sony Xperia Z3 phone, when the vectorcardiogram image is mirrored on a phone screen using a chosen application and a phone is inserted inside a smartphone headset Google Cardboard and Quantum Bee VR S enabling 3D visualization.

Key words

Vectorcardiography, 3D printing, 3D stereoscopic displaying, virtual reality, virtual reality headset.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	10
Seznam obrázků	14
Seznam tabulek	15
1 Úvod	16
2 Biosignály	17
2.1 Rozdělení	17
2.1.1 Bioelektrické signály	17
2.1.2 Biomagnetické signály	18
2.1.3 Bioimpedanční signály	18
2.1.4 Bioakustické signály	19
2.1.5 Biomechanické signály	19
2.1.6 Biochemické signály	19
2.1.7 Jiné biologické signály	19
3 Srdce	20
3.1 Převodní srdeční systém	21
3.2 Akční potenciál	21
4 Vektorkardiografie	23
4.1 Frankovy ortogonální svody	23
4.2 Ostatní možnosti měření VKG	24
5 Rešerše	25
5.1 Technologie 3D tisku	25
5.1.1 Stereolitografie (SLA)	25
5.1.2 Digital lightprocessing (DLP)	26
5.1.3 Modelování depozicí taveniny (FDM)	26
5.1.4 Zapékání práškového materiálu pomocí laserového paprsku (SLS)	27
5.1.5 Selective laser melting (SLM)	27
5.1.6 Electronicbeam melting (EBM)	27
5.1.7 Laminated object manufacturing (LOM)	28
5.2 Konkrétní příklad využití 3D tisku ve zdravotnictví	28
5.3 3D stereoskopické zobrazení, princip a přenos	29
5.3.1 Šachovnice (checkboard)	29
5.3.2 Prokládání (interlace)	29
5.3.3 Obrazy nad sebou (High on Under – HOU)	29
5.3.4 Obrazy vedle sebe (Side by side – SBS)	30

5.3.5	Technologie, pomocí kterých lze toho dosáhnout	30
5.3.5.1	Anaglyf neboli barevná separace obrazu	30
5.3.5.2	Aktivní systém s časovým multiplexem	31
5.3.5.3	Pasivní systém s polarizačním oddělením	32
5.3.5.4	Autostereoskopický displej	33
5.3.5.5	nVidia 3D Vision	35
5.3.6	Vysokorychlostní projekce (HFR 3D)	35
5.3.7	3D obraz z 2D zdroje	35
5.3.8	3D monitory	36
5.4	Virtuální realita (VR)	36
5.4.1	Základní principy virtuální reality	36
5.4.2	Pohyb hlavy	36
5.4.3	Pohyb těla	37
5.4.4	Rozlišení	37
5.4.5	Snímková frekvence	38
5.4.6	Výkon grafických karet	38
5.4.7	Úsilí o nízké latence	39
5.4.7.1	TimeWarp	39
5.4.7.2	NvidiaMulti-Res Shading	39
5.4.7.3	Latest Data Latch	40
5.4.7.4	Direct Mode (Nvidia), Direct to Play (AMD)	40
5.4.7.5	VR SLI (Nvidia), AffinityMulti-GPU (AMD)	40
5.5	Virtuální realita pro mobilní telefony	40
6	Závěr o jednotlivých možnostech 3D vizualizace vektoru kardiogramu	42
7	Výběr vizualizační metody	45
8	Softwarová realizace aplikace	46
8.1	Popis ovládání aplikace	46
8.2	Popis softwarové části aplikace	52
8.2.1	Funkce VKG_Zobrazovac.fig a VKG_Zobrazovac.m	52
8.2.2	Funkce select_points.m	52
8.2.3	Funkce VCG.m, VCG_P.m, VCG_QRS.m, VCG_T.m a mArrow3.m	53
8.2.4	Funkce VCG_subplot.m	53
8.2.5	Funkce clear_and_delete.m	53
9	Důležité podmínky k dosažení zvolené 3D vizualizace a aplikace Trinus VR	54
9.1	Představení aplikace Trinus VR	54
9.2	Nastavení a propojení aplikace s mobilním telefonem a PC	54

9.3	Možné komplikace	59
9.4	Kompatibilita a požadavky.....	59
10	Testování s poskytnutými daty a zhodnocení dosažených výsledků.....	60
11	Závěr	61
12	Seznam použité literatury	62
13	Seznam příloh	67

Seznam použitých symbolů a zkratek

Veličina	úplný název	fyzikální rozměr
B_{pp}	špičková indukce	[T]
\$	Dolar, oficiální měna Spojených států amerických	
£	Libra, Oficiální měna Spojeného království	
°C	Celsiův stupeň, fyzikální rozměr teploty	
2D	„Dvoudimenzionální“ neboli „dvourozměrný“	
2K	Rozlišení obrazu s hodnotou 2048×1080	
3D	„Trojdimenzionální“ neboli „trojrozměrný“	
3DP	Označení typu technologie 3D tisku využívající lepení práškového materiálu (Threedimensionalprinting)	
3DS	Označení herní konzole od firmy Nintendo umožňující 3D stereoskopické hraní bez použití speciálních brýlí	
4K	Rozlišení obrazu s hodnotou 3840×2160	
ABS	Akrylonitril-Butadien-Styren	
CAD	2D a 3D počítačové projektování (Computeraided design)	
CO ₂	Oxid uhličitý	
CPU	Centrální procesorová jednotka neboli procesor počítače (Centralprocessing unit)	
CRT	Označení monitorů a zobrazovacích zařízení na principu elektronových paprsků (Cathoderay tube)	
CT	Počítačová tomografie (Computed tomografy)	
DLP	Označení technologie 3D tisku využívající světelný paprsek (Digital light processing)	
D-Sub	Označení rodiny konektorů používaných pro přenos elektronických signálů mezi zařízeními (Digital video interface)	
DVI	Rozhraní k propojení videozařízení s počítačem (Digital visual interface)	
DVI-D	Typ DVI rozhraní přenášející digitální signál	
EBM	Označení technologie 3D tisku využívajícího elektronového paprsku (Electronicbeammelting)	
ECOG	Elektrokortikografie, elektrokortikogram	

EEG	Elektroencefalografie, elektroencefalogram
EKG	Elektrokardiografie, elektrokardiogram
EMG	Elektromyografie, elektromyogram
ENG	Elektroneurografie, elektroneurogram
EOG	Elektrookulografie, elektrookulogram
EP	Evokovaný potenciál
ERG	Elektroretinografie, elektroretinogram
FDM	Označení technologie 3D tisku využívající zahřívání termoplastického materiálu (Fuseddeposition modeling)
FFF	Stejná jako FDM technologie (Fused filament fabrication)
FoV	Fieldof View
FPS	Počet snímků za vteřinu (Frames per second)
Full HD	Rozlišení obrazu s hodnotou 1920×1080
GB	Gigabyte, jedna z jednotek kapacity paměťových médií (Gigabyte)
GPU	Grafický procesor, respektive grafická karta (Graphicprocessing unit)
HD	Rozlišení obrazu s hodnotou 1280×720 (High Definition)
HDMI	Označení kabelu nebo konektoru sloužícího k přenosu digitálního signálu (High-Definition Multimetida Interface)
HFR	Vysokorychlostní projekce (High Frame Rate)
HIPS	Kaučukem modifikovaný polystyrén (High Impact Polystyrene)
HMD	Označení třídy, do které spadají brýle pro virtuální realitu (Head-Mounted Display)
HOU	High on Under, nahradil TAB
Hz	Hertz, jednotka frekvence
IR	Infračervené záření (Infrared Radiation)
JPEG	Kompresovaný grafický formát (Joint Photographic Experts Group)
Kpix	Kilopixel
LCD displej	Displej z tekutých krystalů (Liquid Crystal Display)
LED displej	Displej, kde aktivním prvkem jsou světelné diody (Light Emitting Diode)
LOM	Označení typu technologie 3D tisku využívající vysoké teploty a laseru (Laminated Object Manufacturing)

Mpix	Megapixel
MtPL	Latence snímku (Motion to Photon Latency)
OLED	Označení u monitorů/displejů využívající technologii organických elektroluminiscenčních diod (Organiclight-emittingdiode)
PC	Počítač (Personal Computer)
PET	Polyethylentereftalát
PLA	Polymléčná kyselina (Polyactic acid), biologicky rozložitelný polyester
PNG	Nekompresovaný grafický formát (The Portable Network Graphics)
PPD	Pixel Per Degree
PPI	Počet pixelů na palec (Pixel Per Inch)
PVA	Polyvinylalkohol
QHD	Rozlišení obrazu s hodnotou 2560×1440 (Quad HD)
RAM	Operační paměť umožňující čtení i zápis (Random Access Memory)
RGB	Barevný model červená-zelená-modrá je aditivní způsob míchání barev využívanýchv barevných monitorech (Red, Green and Blue)
SBS	Obrazy vedle sebe (Side by side)
SD	Označení paměťové karty používané v přenosných zařízeních (Secure Digital)
SLM	Označení typu technologie 3D tisku využívající laser (Selective Laser Melting)
SLS	Označení typu technologie 3D tisku využívající laser (Selective Laser Sintering)
TAB	Top and Bottom, později nahrazeno HOU, významově stejné
TIFF	Nekompresovaný grafický formát (Tagged Image FileFormat)
TPE	Termoplastický elastomer (Thermoplastic Elastomer)
TPU	Termoplastický polyuretan (Thermoplastic Polyurethane)
TV	Televize (Television)
UHMWPE	Ultravysokomolekulární polyethylen (Ultra-high-molecular-weightpolyethylene)
USB	Univerzální sériová sběrnice (Universal Serial Bus)
UV	Ultrafialové záření
VKG	Vektorkardiografie, vektorkardiogram
VR	Virtuální realita (Virtual Reality)

WiFi	Označení bezdrátové komunikace v počítačových technologiích
μV	Mikrovolt
arc lampa	Lampa produkující světlo pomocí elektrického oblouku
dB	Decibel
fEKG	Fetální elektrokardiografie
g	Gram, tisícina kilogramu
kHz	Kilohertz
l	Litr, jednotka objemu
min	Minuta, jednotka času
ml	Mililitr, tisícina litru
mm	Milimetr, tisícina metru
mmHg	Milimetr rtuťového sloupce, jednotka tlaku
ms	Milisekunda, tisícina sekundy
mV	Milivolt, tisícina voltu

Seznam obrázků

Obrázek 1: Popis lidského srdce.....	20
Obrázek 2: Akční potenciál	21
Obrázek 3: Akční potenciál srdce	22
Obrázek 4: Vektorkardiogram.....	23
Obrázek 5: Shrnující obrázek s označením všech 7 elektrod a jejich anatomické umístění	24
Obrázek 6: Schéma popisující zařízení na bázi SLA technologie	25
Obrázek 7: Schéma tiskárny využívající FDM technologii. Na obrázku lze také vidět dvě tisknouce hlavičky	26
Obrázek 8: Schéma tiskárny na bázi SLS technologie	27
Obrázek 9: Struktura tiskárny na bázi LOM technologie	28
Obrázek 10: Ukázka 3D modelu kraniálního implantátu, na obrázku technicky čistý titan, který je použit k vyplnění lebečního defektu	29
Obrázek 11: Příklad anaglyfických brýlí	30
Obrázek 12: Levá strana znázorňující co vidí levé oko, pravá strana znázorňující co vidí pravé oko u brýlí s použitou barevnou kombinací červená – azurová	31
Obrázek 13: Znázornění zúžení na poloviční rozlišení	32
Obrázek 14: Princip oddělení světla pomocí polarizace	32
Obrázek 15: Znázornění principu pasivní stereoskopické projekce	33
Obrázek 16: Znázornění schématu autostereoskopického zobrazování.....	34
Obrázek 17: Obrázek znázorňující nutnou sestavu k použití této technologie od společnosti	35
Obrázek 18: Nalevo obraz na displeji HMD, uprostřed funkce čočky, napravo jak to vidí uživatel ..	39
Obrázek 19: Rozdělení obrazu do 9 sekcí	40
Obrázek 20: Grafické uživatelské rozhraní aplikace VKG_Zobrazovac	46
Obrázek 21: Dialogové okno pro výběr dat	47
Obrázek 22: Vykreslení zvolených dat	47
Obrázek 23: Text nad každým grafem, který uživatele vyzve, aby kliknul na graf, ze kterého chce provést výběr bodů – v tomto případě konkrétně pro QRS komplex	48
Obrázek 24: Jednotlivé vybrané části jsou barevně rozlišeny	48
Obrázek 25: Vektorkardiogram	49
Obrázek 26: QRS komplex	49
Obrázek 27: P vlna.....	50
Obrázek 28: T vlna	50
Obrázek 29: Roviny	51
Obrázek 30: Stavový diagram aplikace	51
Obrázek 31: Dialogové okno s varováním při pokusu načíst další data bez vymazání předchozích...	53
Obrázek 32: Úvodní obrazovka mobilní aplikace Trinus VR	55
Obrázek 33: Úvodní obrazovka Trinus VR Server pro PC	55
Obrázek 34: Obraz, který vidíme po úvodní obrazovce	56
Obrázek 35: Obrazovka mobilu, kde se povoluje USB Tethering (zcela nahoře).....	57
Obrázek 36: Obraz mobilu před nastavením parametrů při volbě brýlí Custom_Any	57
Obrázek 37: Příklad vhodného nastavení obrazu	58
Obrázek 38: Brýle Quantum Bee VR S.....	59

Seznam tabulek

Tabulka 1: Nejčastěji měřené biomagnetické signály	18
Tabulka 2: Zobrazení počtu pixelů pro jedno oko a k vytvoření virtuální reality	37
Tabulka 3: Tabulka ukazující rozlišení VR headsetů, které jsou omezeny výkonem dnešních grafických karet.....	37
Tabulka 4: Znázornění hodnot MtPL, latence a FPS u grafických karet	38
Tabulka 5: Tabulka s požadavky, pro představu jsou uvedeny i monitory v rozlišeních Full HD, 2K a 4K	38
Tabulka 6: Celkové zhodnocení 3D tiskáren	42
Tabulka 7: Celkové zhodnocení počítačových monitorů pro 3D technologii.....	42
Tabulka 8: Celkové zhodnocení brýlí virtuální reality pro počítače, 1 znamená nejnižší/nejhorší hodnocení, 10 znamená nejvyšší/nejllepší hodnocení	43
Tabulka 9: Celkové zhodnocení brýlí virtuální reality pro mobilní telefony	43
Tabulka 10: Celkové zhodnocení programů umožňujících virtuální realitu za použití telefonu	44

1 Úvod

Cílem této bakalářské práce je vyvinout aplikaci, kde lze zobrazit průběh vektorkardiografické smyčky, vektorkardiogram, včetně barevného rozlišení, nebo více smyček najednou a následné zobrazení v jiné platformě, která umožní zlepšený a detailnější pohled. Vektorkardiogram totiž disponuje větším množstvím informací než elektrokardiogram – výsledná křivka elektrokardiografie.

Teoretická část je věnována biosignálům, srdci a vektorkardiografii. V kapitole biosignály jsou popsány druhy biosignálů a jejich typy včetně stručné charakteristiky. Následující kapitola je věnována srdci, kde je popisována jeho stavba, převodní systém srdeční a akční potenciál. Převodní systém srdeční a akční potenciál patří mezi základy správného pochopení funkce srdce. Metoda zabývající se vyšetřením a funkcí srdce se nazývá elektrokardiografie. O srdci píše kvůli vektorkardiografii, která s elektrokardiografií souvisí. Poslední kapitola teoretického rozboru je věnována vektorkardiografii, což je metoda zachycující elektrickou aktivitu srdce jako vektor v prostoru. Je věnována jejím teoretickým základům a Frankovým ortogonálním svodům, což jsou nejpoužívanější svody k měření výsledné vektorkardiografické křivky, vektorkardiogramu. Zároveň jsou zmíněny názvy ostatních měřících svodů.

Rešerše je věnována možným metodám zobrazení. Jako první je zmiňován 3D tisk a jeho technologie včetně popisu principů těchto technologií. Další část je věnována 3D stereoskopickému zobrazení – popisu principu. Následující kapitola je věnována virtuální realitě pro počítače, kde jsou popsány základní principy včetně metod docílení co nejnižší latence, která patří mezi klíčové vlastnosti k dosažení co nejlepšího vjemu z virtuální reality. Následující kapitola je stručná a velmi podobná předchozí kapitole. Jedná se o virtuální realitu pro mobilní telefony.

Další kapitola obsahuje shrnutí informací o jednotlivých možnostech 3D vizualizace vektorkardiogramu. Je zaměřena na bodové hodnocení jednotlivých zařízení spadajících do jednotlivých metod zobrazení.

Předposlední kapitola je věnována výběru metody včetně zdůvodnění.

Předposlední kapitola se zaměřuje na popis ovládání vytvořené aplikace a popisu jednotlivých softwarových částí. Následně je zaměřena na popis a ovládání aplikace umožňující virtuální realitu pro mobily, která byla vybrána pro tuto bakalářskou práci, včetně zdůvodnění tohoto výběru. Poslední část je zaměřena na její požadavky a kompatibilitu.

Poslední kapitola se věnuje testování a zhodnocení zvolené metody 3D vizualizace. Testování a zhodnocení bylo provedeno lékařem MUDr. Františkem Jurkem

2 Biosignály

Nejdříve definujeme, co je to signál. Signál je prostředek nesoucí informaci. Biosignály lze definovat jako signály, jejichž původ je v živém organismu. Mohou být vyvolány činností organismu nebo uměle jako důsledek úmyslného vnějšího působení podnětů na organismus. [1, 2]

2.1 Rozdělení

Při rozlišování biosignálů z fyzikálního hlediska se nemusí jednat pouze o elektrické signály, respektive bioelektrické signály. Rozlišují se biochemické, biomechanické, bioakustické, biomagnetické a bioimpedanční signály. Je ale nutno podotknout, že některé biosignály nelze jasně zařadit do žádné z výše uvedených kategorií. [1]

2.1.1 Bioelektrické signály

Bioelektrické signály jsou způsobeny činností elektrických dějů, které probíhají na buněčných membránách. Měření probíhá neinvazivní metodou za užití povrchových elektrod, protože lidské tělo je dobře vodivým prostředím. Většinou je použito více elektrod v okolí daného orgánu, tím je zjišťováno rozložení elektrického pole. V ojedinělých případech se však používá invazivní metody za užití podpovrchových elektrod. U bioelektrických signálů nás zajímá frekvenční pásmo a rozkmit.

Elektroencefalografický signál (EEG): Je projevem aktivity mozkových neuronů. Nejedná-li se o operační výkon, snímání probíhá za užití povrchových elektrod. Frekvenční pásmo je 0,1–100 Hz a rozkmit 5–300 μV .

Elektrokortikografický signál (ECoG): Jedná se o snímání elektrické aktivity na povrchu mozkové kůry v průběhu operace mozku. Frekvenční pásmo je 0,1–100 Hz a rozkmit 5 μV – 10 mV.

Elektrokardiografický signál (EKG): Je projevem činnosti srdce. Vzniká činností akčního potenciálu svalových buněk srdečních. Akční potenciál je šířen síněmi, převodním systémem a komorami, pokud se však nejedná o patologický stav. Většinou je snímán užitím povrchových elektrod, při operacích přímo na srdci. Frekvenční pásmo je 0,01–250 Hz a rozkmit 0,5–5 mV.

Evokované potenciály (EP): Projev činnosti mozku jako důsledek úmyslného vnějšího působení podnětů. Podněty se používají somatosenzorické, světelné a akustické. Rozkmit je 0,1–20 μV a frekvenční pásmo jednotky kHz.

Elektromyografický signál (EMG): Jedná se o činnost kosterního svalstva, která vzniká v důsledku akčního potenciálu svalových vláken. Frekvenční pásmo je 0,01 Hz – 10 kHz a rozkmit 0,1–10 mV u povrchového měření. U měření podpovrchového je frekvenční pásmo 0,01 Hz – 10 kHz a rozkmit 50 μV – 5 mV.

Elektrogastrografický signál (EGG): Je projevem žaludečního svalstva. Frekvenční pásmo je 0,01–5 Hz a rozkmit 0,1–10 mV u povrchového měření. U měření nitrožaludečního je frekvenční pásmo 0,01–5 Hz a rozkmit 10–500 μV .

Elektrookulografický signál (EOG): Je projevem činnosti okohybných svalů. Snímání je neinvazivní, kdy elektrody jsou umístěny kolem očních důlků. Frekvenční pásmo je 0,05–100 Hz a rozkmit 10 μV – 5 mV.

Elektroneurografický signál (ENG): Je to projev akčního potenciálu, který se šíří periferními nervovými vlákny. Frekvenční pásmo je 0,01 Hz – 1 kHz a rozkmit je 5 μV – 10 mV, měření probíhá podpovrchově.

Elektroretinografický signál (ERG): Vzniká projevem činností oční sítnice. Je měřitelný na rohovce za užití elektrody, která vypadá jako kontaktní čočka, nebo na povrchu sítnice za užití mikroelektrod. Frekvenční pásmo je 0,2–50 Hz a rozkmit je 5 μV – 1 mV.

Fetální elektrokardiografický signál (fEKG): Tento signál je generován činností srdce plodu, který je šířen tělem matky. Měření lze provádět neinvazivně za užití elektrod na povrchu břicha matky nebo invazivně za užití speciální elektrody, která se u plodu zavádí do jeho hlavičky. Frekvenční pásmo je 0,01–250 Hz a rozkmit 10 –20 μV u neinvazivního měření, u invazivního měření je frekvenční pásmo 0,01–250 Hz a rozkmit 10–300 μV . [1, 3]

2.1.2 Biomagnetické signály

Vznikají průtokem lokálních proudů lidským tělem během šíření akčního potenciálu. Jejich působením vzniká slabé magnetické pole určitých orgánů. Měření probíhá bezkontaktně, a navíc není nutná referenční elektroda. Tabulka 1 uvádí biomagnetické signály, které jsou snímány nejčastěji, jejich špičkovou indukci B_{pp} a frekvenční pásmo.

Měření jejich polí o malé intenzitě je náročné kvůli mnohem vyšší intenzitě rušivých polí, mezi které patří geomagnetické pole země, rušivé pole elektrospotřebičů a elektrorozvodné sítě. [1, 3]

Tabulka 1: Nejčastěji měřené biomagnetické signály [1]

Typ	Špičková indukce B_{pp} [pT]	Frekvenční pásmo
Magnetoencefalografický	1–2	0,5–30 Hz
Magnetokardiografický	50–70	0,05–150 Hz
Magnetomyografický	10–90	0–10 kHz
Magnetoekulografický	10	0–100 Hz
Magnetoretinografický	0,1	0,1–50 Hz

2.1.3 Bioimpedanční signály

Nepatří mezi spontánní projevy organismu. Vznikají indukováním střídavého proudu do tkáně, kdy frekvence proudu jsou desítky kHz. Jeho snímání probíhá na jiném místě, kdy se za užití povrchových elektrod snímá napětí vzniklé průchodem indukovaného proudu tkání. Velikost napětí je závislá na velikosti impedance tkáně. [1, 3]

2.1.4 Bioakustické signály

Jedná se o měření zvuků poskytujících relevantní informace o fyziologickém jevu, kterým je generován. Nejčastěji se jedná o srdeční ozvy, respektive fonokardiografický signál, avšak zvuk vytváří také pohyb kloubů, trávicí trakt nebo kontrakce svalů. Snímá se z povrchu těla fonendoskopem nebo mikrofonem.

Frekvenční rozsah fonokardiografického signálu je 5 Hz – 2 kHz a dynamický rozsah 80 dB. [1, 3]

2.1.5 Biomechanické signály

Patří sem polohové výchylky, průtoky, tlaky, rychlosti, zrychlení atd., které lze u lidského organismu měřit. Mezi nejčastěji měřené patří srdeční výdej, objem tkání, krevní tlak a respirační frekvence.

Krevní tlak může být měřen invazivně či neinvazivně a jeho hodnoty jsou udávány ve vztahu k hodnotám absolutního tlaku 760 mmHg, čemuž odpovídá krevní tlak s hodnotou 0 mmHg.

Srdeční výdej znamená objem krve, který byl vypuzen srdcem do krevního oběhu za určitý čas. Obvyklý objem je $5,5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$.

Respirační frekvence neboli frekvence dýchání je často odvozována z procesu jiného biosignálu, například z EKG.

Informace o objemu tkání se využívá k zhodnocení jejich prokrvení. Lze ji měřit za užití pletysmografické metody. [1, 3]

2.1.6 Biochemické signály

Jejich úkolem je informovat o koncentraci látek v lidském organismu. Mezi nejčastěji měřené veličiny patří koncentrace CO_2 v krvi a vydechovaném vzduchu a nasycení krve kyslíkem. [1, 3]

2.1.7 Jiné biologické signály

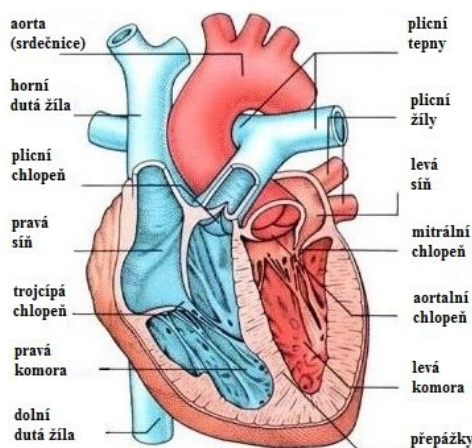
Biologický signál těžko zařaditelný do některé z kategorií výše uvedených je tělesná teplota. Lze ji měřit bezkontaktně a kontaktně nebo termografickou kamerou. Měřicí rozsah teploměrů musí být alespoň $35\text{--}42^\circ\text{C}$ a měří se v intervalech 10–15 minut. [1, 3]

3 Srdce

Srdce je dutý orgán vážící 250 až 300 g nacházející se ve středním mediastinu v hrudníku. Stejně jako svaly kosterní je složen z příčně pruhovaných svalových vláken, ale srdce nelze ovládat vůlí.

Ve své podstatě je mechanickou pumpou mající za úkol přivádět odkysličenou žilní krev a po okysličení ji vehnat do tepen. Skládá se ze dvou komor a dvou síní. Máme malý krevní oběh a velký krevní oběh. Součástí malého krevního oběhu je pravá síň a komora, kdy odkysličená krev proudí do pravé síně přes horní a dolní dutou žílu (venacava superior et inferior). Z pravé síně krev putuje do pravé komory. Poté je vypuzena do plicní tepny přes poloměsíčitou chlopeň. Plicní tepna se větví na menší tepny, tepénky a kapiláry. Průchodem kapilárami se okyslíčí, zbaví se oxidu uhličitého a poté přes plicní žíly ústí do levé síně, kde začíná velký krevní oběh. Z levé síně přes mitrální chlopeň putuje do levé komory, odkud putuje do aorty, a nakonec do celého těla. Toto je průběh jednoho srdečního cyklu. Průměrná tepová frekvence v klidu je 70 úderů za minutu. Při zátěži jak psychické, tak fyzické se může zvednout až na 180 až 220 tepů za minutu. Za jednu minutu je vypuzeno 5 až 6 litrů krve, což činí 70 až 75 ml krve během jednoho stahu.

Přepážka (septum) dělí srdce na levou a pravou stranu, kdy na každé straně se nachází srdeční síň a srdeční komora. Trojcípá chlopeň odděluje pravou komoru a pravou síň, a levou síň a levou komoru odděluje mitrální dvojcípá chlopeň. Chlopně mají funkci ventilu, který zajišťuje jednosměrný tok krve. Obrázek 1 udává popis lidského srdce.



Obrázek 1: Popis lidského srdce [1]

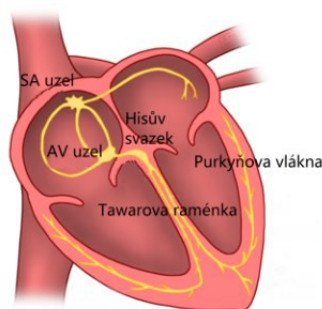
Srdce se skládá ze tří vrstev, a to z vnitřní, střední a vnější. Vnitřní hladká vrstva nazývána endokard vystýlá srdce. Střední vrstvu tvoří příčně pruhovaná srdeční svalovina, jejíž levá stěna je silnější kvůli vypuzované krve do oběhu. Vnější vrstva (epikard) je tvořena vazivem, přechází v perikard a mezi oběma vrstvami je nevelké množství ochranné plazmy.

Jak již bylo zmíněno, srdce nelze ovládat vůlí, obsahuje převodní srdeční systém zajišťující vytváření a vedení elektrických impulsů. [1, 4, 5]

3.1 Převodní srdeční systém

Jak již bylo zmíněno, převodní srdeční systém zajišťuje vytváření a vedení elektrických impulsů (akčního potenciálu) v srdci. Tím zajišťuje správnou časovou souslednost síní a komor. Je tvořen specializovaným systémem buněk nacházejících se v sinoatriálním uzlu, které generují tyto impulsy. Mezi tento systém patří již zmíněny sinoatriální uzel, atrioventrikulární uzel, Hisův svazek, Purkyňova vlákna, pravé a levé Tawarovo raménko.

Sinoatriální uzel vytváří elektrické impulsy, je umístěn ve stěně pravé síně a je složen z autonomních buněk. Jsou do něj vedeny nervy parasymptiku a sympatiku; je nutno ale podotknout, že pokyny pro stah jsou vytvářeny samotnými autonomními buňkami. Vytvořený elektrický impuls způsobí depolarizaci buněk, je šířen srdeční svalovinou, a tím je dosaženo kontrakce. Ze sinoatriálního uzlu se impuls šíří do atrioventrikulárního uzlu. Potom následuje Hisův svazek nacházející se mezi pravou komorou a pravou síní. Z Hisova svazku vybíhá pravé a levé Tawarovo raménko. Na konci systému se raménka dělí v Purkyňova vlákna, jejichž úkolem je vedení vzruchů na stěny srdečních komor. Znárodnění je na obrázku 2. [1, 4, 5]



Obrázek 2: Akční potenciál [4]

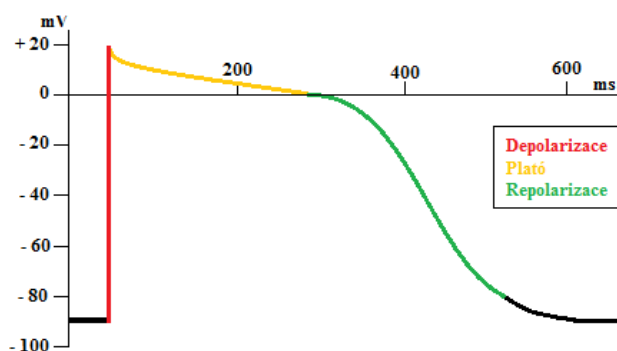
3.2 Akční potenciál

Buňky srdce se dělí na buňky převodního systému a na kardiomyocyty. Úkolem buněk převodního systému je vytvářet a přenášet elektrické impulsy, zatímco kardiomyocyty plní funkci kontrakce.

Řízení procesu je elektrochemické. Na membránové napětí srdečních buněk působí průchod draslíkových iontů. Klidové membránové napětí se pohybuje od -60 do -90 mV a jeho poklesem na -65 mV je způsobeno zvýšením permeability buňky pro sodíkové ionty, což způsobuje vznik rychlého sodíkového kanálu. Snížením membránového napětí na -40 mV způsobuje zvýšení vodivosti buňky pro vápníkové ionty. Snahou vápníkových iontů je neustálá depolarizace, což zabraňuje návratu klidového potenciálu. Vyčerpání zásob sodíkových iontů mimo buňku vede ke snížení vodivosti pro vápníkové ionty, což způsobuje obnovení vodivosti pro draslíkové ionty, tím se vrací klidový stav po docílení kladných hodnot membránového potenciálu. Draslíkové ionty následně vycházejí ven z buňky a nastává repolarizace buňky.

Ve své podstatě se jedná o proces změny klidové polarizace membránového napětí na omezenou dobu, což je způsobeno podrážděním buňky. Doba trvání se pohybuje od 200 do 400 ms.

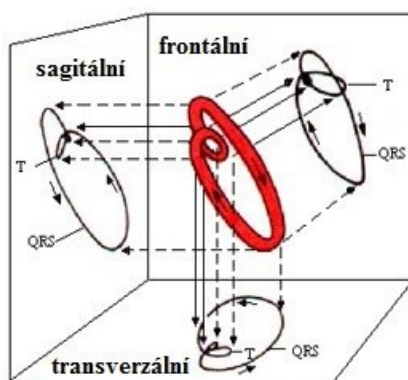
Nejprve nastává depolarizace, kdy za dobu 1 až 3 ms se mění hodnota klidového membránového potenciálu z -90 mV na 20 až 25 mV. Záporně nabité ionty v jejím průběhu procházejí ven z buňky a kladně nabité ionty dovnitř. Po depolarizaci nastává velmi krátká repolarizace, během níž poklesne membránový potenciál na +10 mV. Repolarizace je následována fází plató trvající od 200 do 350 ms. Až po fázi plató nastává repolarizace, během níž je obnoven membránový potenciál. Na základě rychlosti rozlišujeme akční potenciál s pomalou depolarizací a rychlou depolarizací. Obrázek 3 znázorňuje průběh akčního potenciálu. [4]



Obrázek 3: Akční potenciál srdce [4]

4 Vektorkardiografie

Jedná se o diagnostickou metodu v medicíně zachycující elektrickou aktivitu srdce jako vektor ve 3D, ovšem méně specifickou než standardní 12svodové EKG. Přesto se řadí mezi užitečnou metodu vyšetřování činnosti srdce. Ve srovnání s EKG disponuje VKG větším množstvím informací, mezi které například patří znázornění fázových nebo časových vztahů mezi komplexy. Smysl VKG spočívá například v lokalizaci a detekci hypertrofie pravé a levé komory srdeční, akutního infarktu myokardu, bloků Tawarových ramének, preexcitace Wolffova-Parkinsonova-Whiteova syndromu a podobně. Navzdory tomu se stále převážně používá EKG. Výsledný záznam VKG se nazývá vektorkardiogram; například obrázek 4.



Obrázek 4: Vektorkardiogram [4]

Jak je z obrázku 4 patrné, rozlišují se tři roviny, a to sagitální, frontální a transversální. Výsledný vektorkardiogram je popsán třemi smyčkami, kdy první smyčka odpovídá P vlně, druhá QRS komplexu a třetí T vlně, přičemž je brán ohled na jejich směr, obrys a rotaci. Během rozboru je největší zaměření na QRS komplex mající oválný tvar, a navíc má stejný směr jako srdeční osa srdce. Výsledný vektorkardiogram ukazuje závislost mezi svody v mV.

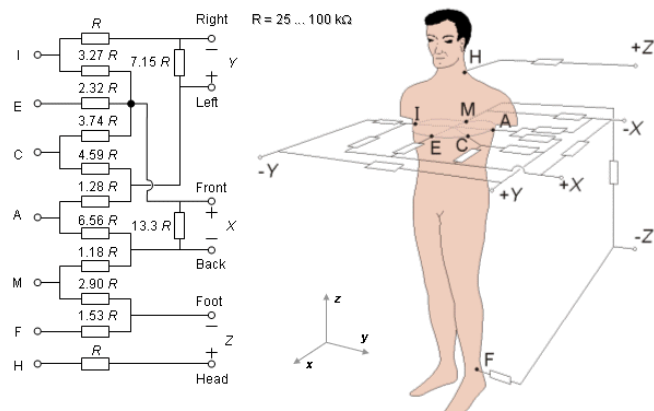
Zmíněné dvě smyčky a komplex jsou promítány na osách X, Y a Z. Jejich spojením vznikají zmíněné vzájemně kolmé roviny. Mezi osami XZ se nachází transversální rovina, mezi osami XY frontální, a sagitální mezi osami YZ. [4, 6, 7]

4.1 Frankovy ortogonální svody

Frankovy ortogonální svody byly vynalezeny Ernestem Frankem v roce 1956 a patří mezi nejpoužívanější metodu měření vektorkardiografie.

Jedná se o bipolární zapojení složené ze 7 elektrod, jejichž pozice jsou popsány velkými písmeny I, E, C, A, M, F a H. Elektrody mají své umístění. Elektroda E se nachází uprostřed hrudníku vpředu, zatímco elektroda M na zádech přesně naproti. Elektroda I se umísťuje v pravé axilární čáře, elektroda A v levé axilární čáře. Rozdělíme-li vzdálenost mezi elektrodou A a elektrodou E na polovinu, získáme umístění elektrody C. Zbylá elektroda F se umísťuje na levou nohu a elektroda H na krk. Jako zemní elektroda slouží elektroda umístěná na pravou nohu. Obrázek 5 ukazuje umístění elektrod.

[4, 6]



Obrázek 5: Shrnující obrázek s označením všech 7 elektrod a jejich anatomické umístění [4]

4.2 Ostatní možnosti měření VKG

Kromě Frankových ortogonálních svodů existují i jiné možnosti měření VKG. Patří mezi ně Monokardiogram podle Manna, svodový systém podle Ivana T. Akulinicheva, McFee-Parungaovy svody, Nelsonovy svody, Fischmann-Barer-Weiss svodový systém a Schmitt-Simonsonovy svody, též SVEC III svody. [4, 7, 8]

5 Rešerše

Úkolem rešerše je poskytnout základní informace o metodách, pomocí nichž lze provést 3D vizualizaci vektorkardiogramu.

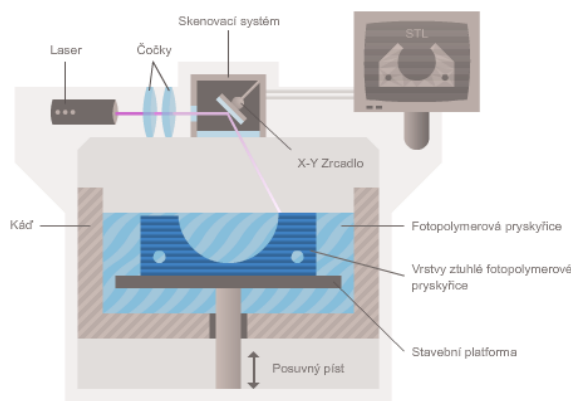
5.1 Technologie 3D tisku

Používá se zde termínu aditivní výroba, která popisuje technologie k vytvoření 3D objektu. Použití materiálu se liší od typu technologie, jsou však společné rysy, jako použití počítače s 3D modelovacím programem k vytvoření modelu. Prvním krokem je vytvoření CAD modelu, poté jsou data přečtena zařízením k tisku, které skládá vrstvu po vrstvě k vytvoření 3D modelu dle CAD předlohy. [9]

5.1.1 Stereolitografie (SLA)

Je nejstarší technologií, přesto je dodnes používána. Existuje standardní formát, který je pro tuto technologii používán, a to STL. Technologie spočívá v následném nanášení vrstvy na vrstvu, a přístroj s touto technologií by měl mít informace o každé vrstvě. Může být až 10 vrstev na milimetr.

Stereolitografie používá ultrafialové záření k vytvrzování fotopolymeru. Tiskárna umožňující SLA technologii obsahuje skenovací systém, laser, nádobu s tekutým fotopolymerem, kde se nachází podstavec, který se pohybuje směrem nahoru a dolů. Díky skenovacímu systému při použití zrcadel směřuje laserový paprsek, který vyzařuje ultrafialové světlo, na místo v nádobě, kde je model ve fyzické podobě. V místě dopadu paprsku dochází k vytvrzení, a poté se vytvrzená část připojí k již zhotovené části nebo k podstavci (jedná-li se o první vrstvu). Podstavec klesne dolů po každé dokončené vrstvě o tuto výšku vrstvy. To se pohybuje mezi 0,05 mm až 0,15 mm. Jelikož se model vytváří v této lázni, vyplývá z toho, že technologie neumožňuje podpůrné materiály. Proto se někdy používají podpůrné struktury, které se později odstraní. Schéma tiskárny užívající tuto technologii je na obrázku 6. [9, 10]



Obrázek 6: Schéma popisující zařízení na bázi SLA technologie [10]

5.1.2 Digital lightprocessing (DLP)

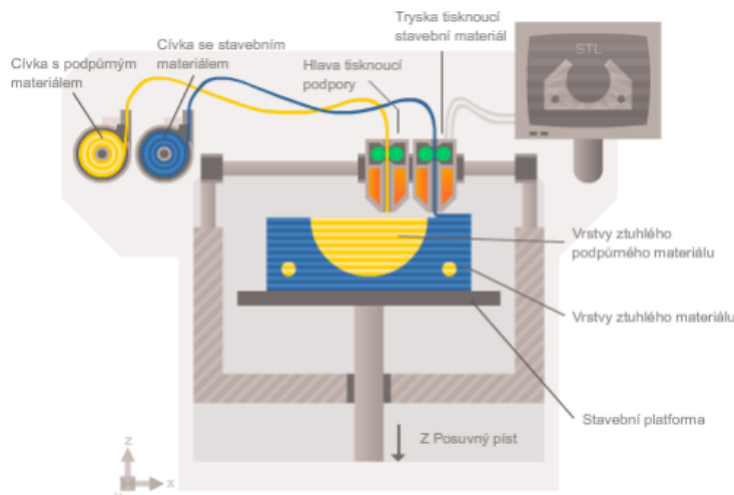
Tato technologie je podobná SLA, liší se v tom, že vrstva není vykreslována bodově laserem. Průřez tisknuté vrstvy je promítán v jednom čase na povrch fotopolymerní pryskyřice, z čehož vyplývá, že právě tisknutá vrstva se vytvrzuje najednou. Další rozdíl je ve zdroji světla, používá se arc lampa. Hlavní výhodou DLP oproti SLA je, že stačí méně materiálu, což vede k nižší ceně. [9, 10]

5.1.3 Modelování depozicí taveniny (FDM)

Název FDM je registrován firmou Stratasys, proto se používá zkratka FFF, jedná se o stejný proces, ale pod jiným názvem, přesto jsem se rozhodl používat zkratku FDM.

Proces tvorby zahrnuje několik kroků. Začíná se tvorbou 3D modelu v CAD programu, poté se vytvoří soubor .stl, který obsahuje informace o každé vrstvě a musí naplánovat směry a čas, v jakém se bude pohybovat tisknoucí hlavice, a kolik materiálu bude použito. V průběhu tisku může vytlačovat i podpurné materiály, které jsou po dokončení snadno odstranitelné. Potom tiskárna zahřeje termoplast na bod tavení a vytvořená cesta za užití servomotorů navádí tisknoucí hlavici, která vytlačuje tento materiál na platformu podle vypočítané trasy. Jakmile vrstva termoplastu ztuhne, stavební platforma klesne a začne se vytvářet další vrstva. Tiskárny lze dělit podle stavební platformy, počtu použitých materiálů zároveň v jednom tisku a pohybu hlavy. První případ je, kdy se hlava s tryskou pohybuje ve směru X–Y a stavební platforma ve směru Z dolů. Nebo hlava s tryskou se může pohybovat ve směru X–Y–Z a stavební platforma je nehybná. Méně častou verzí je, kdy se tryska s hlavou pohybuje ve směru Y–Z a stavební platforma ve směru X. Schéma tiskárny využívající tuto technologii je zobrazeno na obrázku 7.

3D výroba za použití více materiálů umožňuje použít více barev najednou nebo materiály s různými vlastnostmi. [9, 10]



Obrázek 7: Schéma tiskárny využívající FDM technologii. Na obrázku lze také vidět dvě tisknoucí hlavice [10]

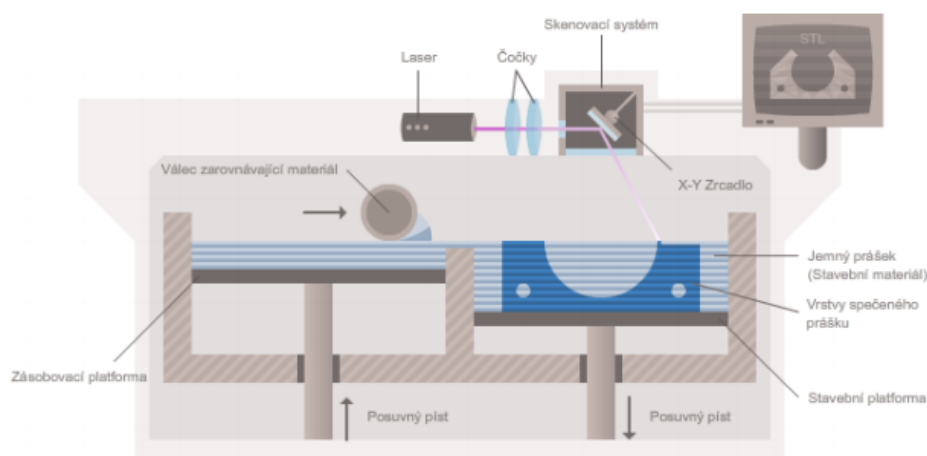
5.1.4 Zapékání práškového materiálu pomocí laserového paprsku (SLS)

Na rozdíl od ostatních aditivních procesů (SLA a FDM), SLS nepoužívá podpurné struktury, jelikož objekt je během výroby neustále obklopen nespečeným práškem.

Tiskárna se skládá ze dvou kádí, laseru, skenovacího zařízení a válce, jehož funkcí je zarovnávání povrchu z prášku. Kád' 1 zastupuje funkci zásobovací kádě, jelikož se tam nachází práškový materiál k výrobě. Kád' 2 zastupuje funkci stavební kádě, jelikož tam dochází k tvorbě 3D modelu. Zpočátku se v kádí 2 rozprostře prášek za pomoci válce po celé ploše. Poté v místech fyzické části modelu laser prášek zahřeje na teplotu tání, a tím se spojí. Takto je vytvořena první vrstva. Poté se stavební platforma (zde je umístěna kád' 2) posune dolů právě o výšku vytvořené vrstvy. Kád' 1 se naopak posune o výšku vytvořené vrstvy nahoru. V kádí 2 se opět za pomoci válce rozprostře prášek po celé ploše kádí 2. Následně se celý proces opakuje do doby, než je 3D model hotov. Během celého procesu musí být pracovní komora uzavřená, aby se udržovala stálá a dostatečná teplota během výroby. Po dokončení se musí 3D model očistit od zbylého prášku. Zbylý prášek se dá opět použít k další výrobě, navíc je objekt obklopen nespečeným práškem během výroby, tudíž tato technologie nepoužívá podpurné struktury.

Obrázek 8 znázorňuje schéma tiskárny fungující na této technologii.

[9, 10]



Obrázek 8: Schéma tiskárny na bázi SLS technologie [10]

5.1.5 Selective laser melting (SLM)

Rozdíl mezi SLM a SLS je v tom, že SLM používá jako materiál práškový kov, jinak rozdíl mezi nimi není. Tiskárna materiál zahřeje téměř na teplotu tání, a tím se spojí s okolním již spojeným materiálem. Jako materiál může být hliník, titan, nerezová ocel, kobalt, chróm a podobně. Touto technologií lze vyrobit modely se složitou geometrií nebo strukturou, které jsou jinak těžko realizovatelné.

[9, 10]

5.1.6 Electronicbeam melting (EBM)

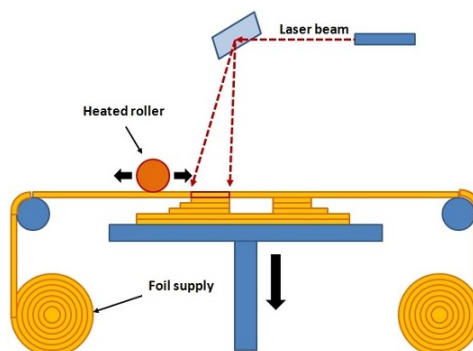
Tato technologie je velmi podobná SLS a SLM. Rozdíl je v tom, že EBM používá elektronový paprsek, který je směřován na místa fyzické části, navíc stavební platforma musí být ve vakuu. EBM

také kovový prášek úplně roztaví, na rozdíl od SLM. Teplota, které se uvnitř přístroje během výroby dosahuje, má hodnotu až 1000 °C. Nejvíce používanými materiály jsou čistý titan, inconel 718 a inconel 625. Technologie touto metodou nachází své uplatnění hlavně v leteckém průmyslu a při výrobě implantátů v medicíně. [9, 10]

5.1.7 Laminated object manufacturing (LOM)

Touto technologií jsou vrstvy papíru, plastu nebo kovových laminátů slepovány dohromady pod vysokou teplotou, poté jsou laserovým nožem řezány do požadovaného tvaru.

Vrstva materiálu, která je pokryta lepidlem, je nanесena na pracovní plochu, poté je přejeta válcem, který rozežře lepidlo, laserový nůž vytváří vrstvu do požadovaného tvaru, a poté, co je vrstva hotova, se celý proces opakuje do doby, než je výrobek hotov. Po každé hotové vrstvě se pracovní plocha posune dolů o 1/16 palce. Používá se formát stl nebo 3ds. Přestože tato technologie není nejpopulárnější, tak patří mezi nejrychlejší a cenově nejdostupnější. Obrázek 9 znázorňuje schéma tiskárny používající tuto technologii. [9]



Obrázek 9: Struktura tiskárny na bázi LOM technologie [9]

5.2 Konkrétní příklad využití 3D tisku ve zdravotnictví

Jedná se v podstatě o rekonstrukci defektů kostních, a to v oblasti klenby lební a obličeje, jak můžeme vidět na obrázku 10. Defekty mohly vzniknout po tříštivé nebo zráťové zlomenině, dekompresivní kraniektomii, vyjmutí kosti, aby se zabránilo nádorovému bujení nebo zánětu, infekci apodobně.

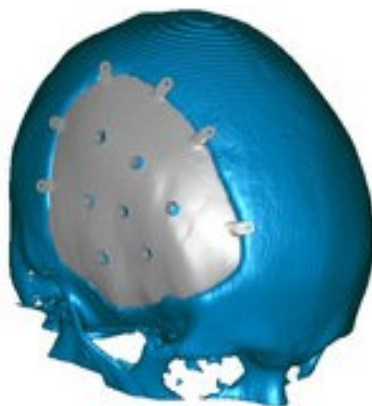
Samotné vytvoření implantátu před operací má několik kroků, kterými jsou: CT vyšetření pacienta → počítačový 3D model skeletu → 3D rekonstrukce defektu → verifikace a korekce doplňku → konstrukce a výroba formy. Až poté může dojít k operaci.

Používá se různých materiálů jako polytetrafluoretylen, známý jako teflon. Také vysoce molekulární UHMWPE, což je typ polyolefinu, navíc je odolnější než teflon. UHMWPE je vysoce odolný proti tření, samoskluzný, má nízkou absorpci vlhkosti a podobně. Polytetrafluoretylen má dobrou pevnost za vyšších teplot, dostatečnou pružnost při nízkých teplotách, při tlakovém zatížení nedochází k jeho drcení, ovšem pokud dostane větší dávku záření, tak dochází k jeho degradaci. Používá se i polyetereterketon, má mechanické vlastnosti, které jsou velmi blízké kosti včetně hmotnosti, radiolucenční, možnost opakovatelné sterilizace autoklávem a podobně. Jedna z dalších možností je

použití technicky čistého titanu. Má vysokou mechanickou pevnost a biokompatibilitu, radioopakní, možnost integrovat upevňovací prvky a podobně.

Výrobek musí mít vysokou tvarovou přesnost a stabilitu, maximální kontakt s plochou kostí, velmi dobrý estetický výsledek. Je samozřejmé, že veškeré používané materiály musí být biokompatibilní.

[11, 12, 13]



Obrázek 10: Ukázka 3D modelu kraniálního implantátu, na obrázku technicky čistý titan, který je použit k vyplnění lebečního defektu [11]

5.3 3D stereoskopické zobrazení, princip a přenos

Jedná se o technologii vnímání trojdimenzionálního prostoru, tzv. stereoskopie. Existuje řada technologií a principů, jak toho dosáhnout.

Člověk vnímá 3D obraz automaticky. Máme dvě oči, tudíž daný obraz vidíme dvakrát, i když z odlišných úhlů. Mozek tyto dva obrazy zkombinuje a vytvoří prostorový vjem. Při tvorbě 3D obrazu se využívá stejného principu, nahrává se z různých úhlů dvojicí kamer. Následující podkapitoly se věnují jejím principům.

[14]

5.3.1 Šachovnice (checkboard)

Patří mezi první systémy, respektive principy. Je to prokládaný režim, kdy obrazy jak pro pravé, tak i pro levé oko jsou promíchány na střídačku stylem šachovnice na úrovni pixelů.

[14]

5.3.2 Prokládání (interlace)

Tímto principem je střídavě přenášén jeden sloupec pro levé a jeden pro pravé oko. Existuje také varianta s prokládanými řádky. Nevýhodou je nižší ostrost z důvodu vytvoření polovičního rozlišení obrazu. Výhodou ale je, že tento obraz umí vytvořit velká část přehrávačů.

[14]

5.3.3 Obrazy nad sebou (High on Under – HOU)

Jsou přenášeny dva snímky, které jsou umístěné nad sebou. Existují varianty full (celý) a half (půl).

Half reprezentuje poloviční rozlišení, které se interpoluje do výšky na plný formát. Poloviční obraz pro oko má zde rozlišení 1920×540.

Full reprezentuje Full HD obraz pro oba snímky. Z toho vyplývá, že pro přenos je nutné mít dvojnásobný datový tok. Rozlišení zde dosahuje 1920×2160 . Kvůli náročnosti na datový objem i nutnosti podpory vyššího rozlišení u přehrávačů se tento systém v podstatě nepoužívá. [14]

5.3.4 Obrazy vedle sebe (Side by side – SBS)

Tato metoda je v podstatě stejná jako HOU, až na to, že obrazy jsou přenášeny vedle sebe. Opět má dvě varianty, a to half (půl) nebo full (celý).

Half zastupuje obraz v polovičním rozlišení, který je interpolován na plný formát do šířky. Standardní rozlišení je Full HD, avšak poloviční obraz v tomto případě má rozlišení 960×1080 pro jedno oko. Jedná se o nejpoužívanější formát na Blu-ray.

Full zastupuje plnohodnotný Full HD obraz pro oba celé snímky. Z důvodu celkového rozlišení, které činí 3840×1080 , je pro přenos nutný dvojnásobný datový tok. Také v tomto případě, z důvodu vysokého nároku na datový objem a nutnosti podpory vyššího rozlišení u přehrávačů, je tento systém prakticky nepoužíván. [14]

5.3.5 Technologie, pomocí kterých lze toho dosáhnout

Následující podkapitoly se zabývají technologiemi, kterými lze toho dosáhnout.

5.3.5.1 Anaglyf neboli barevná separace obrazu

Jedná se o původní, respektive originální metodu, a zároveň nejjednodušší, patřící mezi stereoskopické metody, jedná se taktéž o pasivní, protože neobsahuje baterii ani jiné napájení. Mezi největší výhody patří použitelnost na všech typech zobrazovacích monitorů, projektorů a samozřejmě i při tisku. Nutnou pomůckou jsou anaglyfické brýle, jejichž cena se pohybuje od několika desítek korun. Příklad je na obrázku 11.



Obrázek 11: Příklad anaglyfických brýlí [15]

Základní princip je barevné oddělení pravého a levého obrazu. Respektive vytvářejí obraz, kde část jde na jedno oko, druhá část na druhé oko a část na obě. Je tvořen barvami, jež jsou vzájemně doplňkové. Nejčastěji používanou kombinací jsou červená – azurová (red – cyan); červená je na levém oku a azurová na pravém oku. Znázornění je na obrázku 12

Anaglyf vzniká převedením obrázku pro pravé oko do červenobílé škály a pro levé oko do azurovobílé škály. Vzniklé obrázky se následně zobrazí přes sebe. V místě setkání červené a azurové barvy vzniká černá barva nebo odstín šedé. Osoba následně vidí černobílý obraz vytvořen doplňkovou barvou k filtru brýlí. Mozek si tudíž ze dvou dílčích obrazů vytvoří prostorový vjem.



Obrázek 12: Levá strana znázorňující co vidí levé oko, pravá strana znázorňující co vidí pravé oko u brýlí s použitou barevnou kombinací červená – azurová [15]

Zásadním problémem je nereálnost barev čili ztráta barevné informace. Dalším problémem je vznik tzv. duchů. Vznikají především na hranách, kde dochází ke střídání světlé a tmavé plochy. Existují dva důvody jejich vzniku. Nejčastější důvod je běžně používaný grafický formát JPEG, který ukládá obrazové informace po čtvercích při malé kompresi. Tím může dojít ke vzniku neodstranitelných duchů. Proto je dobré používat nekomprimované formáty jako PNG nebo TIFF. Dalším důvodem mohou být nepřesné barvy vytvořeného anaglyfu. Může se to odvíjet od kvality a kalibrace monitoru i tiskárny.

Existuje více typů tohoto zobrazení:

- **Základní anaglyf:** červená + modrá, červená + zelená nebo červená + světle modrá
- **Anachrom:** tmavě červená + světle modrá. Vytváří lepší vnímání barev než základní, ovšem zároveň může vytvářet načervenalý dojem.
- **Mirachrom:** stejný jako anachrom, ovšem na červené čočce je přidán regulační objektiv pro korekci intenzity červené. Také dochází k redukci barvy u některých očních vad.
- **Trioskopie:** zelená + fialová. Má lepší podání barev z důvodu širšího rozsahu spektra.
- **Inficolor:** fialová + zelená. Podává téměř věrohodné barvy.
- **Color Code:** oranžová + modrá. Podává téměř plné spektrum barev, vyžaduje ale temnější okolí diváka.
- **Infitec:** bílá + bílá. Obsahuje RGB polarizační filtry a také vyžaduje speciální projektor i plochu. Je nepoužitelná pro CRT, LCD a podobně.
- **Magenta-Cyan:** fialová + světlé modrá. Lépe vnímatelné barvy, a vzhledem k tomu, že modrá je posunutá, oko se lépe přizpůsobuje a obraz není viděn namodrale. [14]

5.3.5.2 Aktivní systém s časovým multiplexem

Aktivní proto, že brýle obsahují baterii a podílejí se celkově na 3D zpracování. Existují dvě varianty. První varianta je, když každý z obrazů je ve Full HD, tudíž i pro každé oko. Druhá varianta je použití formátu SBS, kdy jsou vedle sebe dva obrazy v jediném HD filmovém políčku, proto je obraz zúžený na poloviční rozlišení. Příklad lze vidět na obrázku 13.



Obrázek 13: Znázornění zúžení na poloviční rozlišení [16]

Dalším použitelným formátem je Top – Bottom, neboli TAB vhodný pro přehrávání z USB za pomoci interního přehrávače v TV. Obrázky jsou umístěny v jediném políčku nad sebou, tudíž se jedná o obdobu SBS a opět se nejedná o plnohodnotné Full HD.

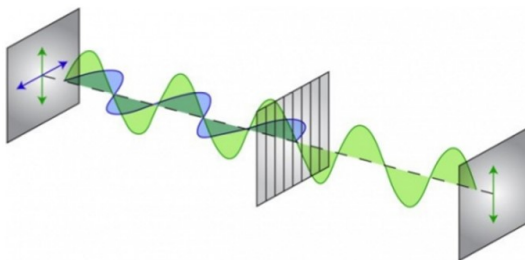
TV dva rozdílné obrazy následně oddělí a střídavě zobrazí, takže TV musí být schopná zobrazovat s dvojnásobnou frekvencí oproti běžným TV kvůli střídavému promítání dvou rozdílných obrazů. Zároveň je vysílán synchronizační signál pro brýle, který způsobuje aktivní střídavé zakrývání levého a pravého oka tak, aby každé oko vidělo svou polovinu obrázku.

Hlavní výhodou je schopnost technologie zajistit plnohodnotný HD obraz. Bohužel je více nevýhod. Jedná se hlavně o blikání brýlí, které je na denním světle dobře vnímatelné, proto je vhodné sledovat obsah při částečném zatemnění. Navíc střídavé zakrývání může způsobit nevolnost, bolest hlavy a podobně; nedoporučuje se epileptikům. [16]

5.3.5.3 Pasivní systém s polarizačním oddělením

Z důvodu nutnosti zpětné kompatibility s již zaběhlými formáty 3D videa vyplývá, že pro pasivní 3D TV je dodáván stejný obrazový materiál jako pro aktivní technologii.

Světlo, které vidíme okolo sebe, není polarizované. Stručně lze říci, že světelné paprsky si je možno představit jako vlny, ovšem každý jednotlivý paprsek světla kmitá náhodným směrem. Kmitají buď vertikálně, nebo horizontálně, jiné náhodně šikmo. Polarizační oddělení se realizuje pomocí polarizačního filtru. Jedná se o optický prvek, který je schopen odfiltrovat jen paprsky kmitající určitým směrem.



Obrázek 14: Princip oddělení světla pomocí polarizace [16]

Princip lze vysvětlit tak, že pokud se světlu do cesty umístí dva filtry, záleží potom na jejich vzájemném pootočení, jestli světlo neprojde, či projde. Bude-li jeden filtr otočen vertikálně a druhý horizontálně, dojde k tomu, že první filtr propustí pouze vertikálně polarizované paprsky, ty ale neprojdou přes druhý, horizontálně otočený filtr. Otočíme-li druhý filtr tak, aby polarizace souhlasila s filtrem prvním, tak i on propustí polarizované paprsky. Zjednodušený princip je ukázán na obrázku 14.

Tento jev je využíván v některých 3D kinech, kdy dva obrazy, každý s jinou polarizací, jsou promítány na stříbrné plátno. V brýlích, které si nasadí divák, jsou dva pootočené polarizační filtry, ale pro každé oko jinak. Bez brýlí by bylo vidět dva prolínající se obrazy, celkově působící jako jeden rozdvojený, respektive rozmazaný. Zjednodušená ukázka je na obrázku 15.



Obrázek 15: Znázornění principu pasivní stereoskopické projekce [16]

V případě, kdy nelze zajistit, aby se vhodně překrývaly dva rozdílně polarizované filtry, jsou polarizovány jednotlivé sloupce pixelů. Pokud si divák v tomto případě nasadí takto upravené 3D brýle, uvidí jedním okem sudé sloupce pixelů a druhým okem pouze liché sloupce.

Z toho vyplývá neschopnost pasivní technologie na obrazovkách s Full HD rozlišením zobrazit plnohodnotný Full HD 3D obraz, protože každé oko vždy uvidí jen polovinu pixelů. Schopnost polovičního rozlišení touto metodou je zároveň jeho největší nevýhodou. Mezi druhou nevýhodou patří citlivost polarizačních filtrů na vzájemné pootočení. Lehce se pak může stát, že účinnost filtrů začne klesat, a s tím i 3D efekt, pokud divák nebude držet hlavu zpříma nebo ji bude naklánět doleva nebo doprava. Výhodou je, že jsou levné, lehké, nepotřebují žádné baterie a odpadá nepříjemné blikání.

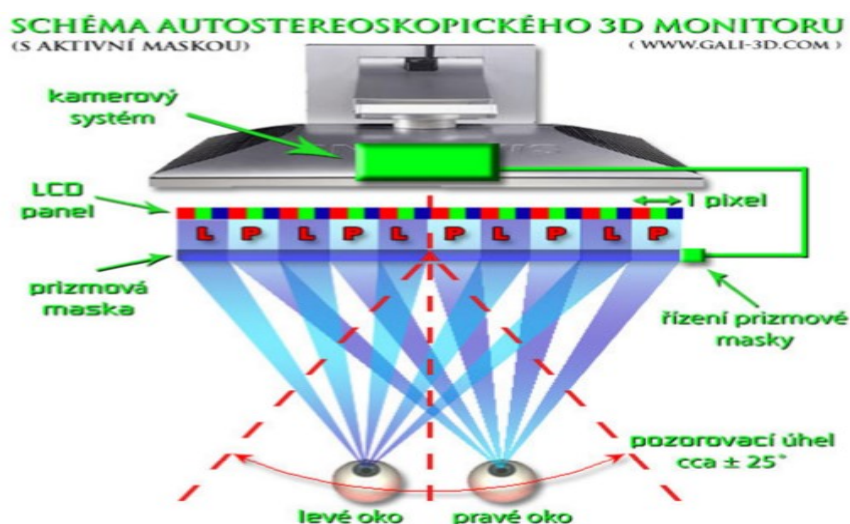
[16]

5.3.5.4 Autostereoskopický displej

Společný znak všech autostereoskopických monitorů je umístění speciální prizmové masky před LCD displej. Masky je vybavena optickými hranoly vychylujícími různé sloupce pixelů do různých směrů, respektive jedna skupina pixelů je vychýlena na jedno oko, druhá na druhé oko. Tudíž obrazy pro jednotlivé oči jsou viditelné z určitých směrů. To znamená, že divák si musí najít vhodnou pozorovací pozici, ovšem není vyžadováno použití jakýchkoliv brýlí.

Výše zmiňovaný fakt pro nalezení vhodné pozorovací pozice se snaží výrobci odstranit systémem pro sledování očí. Monitory jsou vybaveny kamerovým systémem, který sleduje oči diváka a fyzicky posouvá optickou masku před monitor, v důsledku čehož se mění pozorovací zóny v závislosti na pozici diváka. Výsledky ale nejsou příliš valné, obzvlášť pokud je před monitorem více diváků. Systém potom neví, či oči má sledovat. Zároveň v nepříznivých světelných podmínkách není systém schopen spolehlivě vyhodnotit obraz. Zjednodušené schéma je znázorněno na obrázku 16.

Příkladem zařízení, které je schopno podat 3D efekt bez brýlí, je herní konzole Nintendo 3DS. Je vybaveno displejem o rozlišení 800×240 , ale efektivní rozlišení se snižuje na 400×240 . Pokud bychom chtěli Full HD rozlišení, muselo by disponovat 4K displejem.



Obrázek 16: Znázornění schématu autostereoskopického zobrazování [16]

Jiní výrobci se tento problém pokusili řešit jinak než použitím kamerového systému. Vyrobili optickou masku disponující větším počtem obrazů, pěti nebo i devíti. Maskou jsou distribuovány obrazy do jiného pozorovacího úhlu, čímž je docíleno vyššího počtu pozorovacích zón, dokonce lze 3D scénu zachytit z různých míst a úhlů, respektive 3D scénu lze díky tomu pozorovat z různých míst.

Nevýhodou je, že 3D obsah se musí připravit speciálně na konkrétní monitor. Další nevýhodou je nutnost vtěsnání 5 až 9 obrazů, což představuje snížení kvality obrazu 5x či 9x. Výhodou však je, že divák se obejde bez 3D brýlí.

Navíc se tato technologie dělí na lentikulární čočky a paralaxní bariéru. Lentikulární čočky je filtr světlo lámajících optických čoček. Nejčastější použití je u pohlednic nebo nálepek. Z různých úhlů jsou tvořeny pohybové obrázky. Existuje i elektronická varianta, kdy dochází ke změně směru vyzářeného světla díky elektronickým aktivním čočkám, jedná se však o finančně náročnou variantu. Paralaxní bariéra je filtr, který odstiňuje pro každé oko určité sloupce pixelů. Například levé oko vidí liché sloupce a pravé oko vidí sloupce sudé. Tento jev je ve své podstatě fyzikální vnímání pohybu vzhledem k pozadí. Jako příklad lze použít jízdu autem, kdy u krajnice se stromy hýbou rychleji než kopce v dálce. [16]

5.3.5.5 nVidia 3D Vision

Jedná se o metodu 3D zobrazování společnosti nVidia. Byla vytvořena především pro počítačové hry, u kterých je nejpoužívanější, a také pro filmy. Na obrázku 17 je sestava potřebná pro využití této metody.

Je to princip aktivní technologie pracující s frekvencí 120 Hz (60 Hz pro každé oko zvlášť). V podstatě je veškerý princip shodný. Starší frekvence 120 Hz je však nevýhodou, proto lze použít jenom LCD monitory, a ne lepší LED monitory. Navíc kompatibilita s 3D televizemi neexistuje.

Brýle, které mají podporu pro dané hry, mají možnost nastavení hloubky dle potřeb hráče. Jedná se o nativní optimalizaci her, která je tak vzácná, že ve výsledku to často není to pravé. Dojem o 3D prostoru vypadává, někdy některé sklo neblikne, monitor je těžko sehnatelný a podobně. Výhodou ale je, že zavádí kompatibilitu s aktivními brýlemi jiných výrobců a navíc řeší tmavší obraz. [14]



Obrázek 17: Obrázek znázorňující nutnou sestavu k použití této technologie od společnosti [14]

5.3.6 Vysokorychlostní projekce (HFR 3D)

Hovoříme-li o HFR, tak se jedná o metodu vysokorychlostního snímkování pro 3D obrazy z roku 2012.

Jádro této technologie leží ve zdvojnásobení standardu 24 snímků za sekundu na 48 snímků za sekundu. Na první pohled se nejedná o nic revolučního, avšak díky této metodě oko vidí dvojnásobný počet snímků, a to 24 snímků za sekundu. Z toho vyplývá, že každé oko tak dostává „všechny“ snímky, a ne polovinu. Vyvolává to efekt realistického, vysoce ostrého obrazu.

Je použitelná jak pro pasivní, tak i pro aktivní projekci (díky kompatibilitě brýlí). Nevýhodou je nutnost upgradu hardwaru a také datová náročnost. [14]

5.3.7 3D obraz z 2D zdroje

V podstatě existují dva způsoby převodu 2D obrazu na 3D obraz.

Zpožděné zobrazení: princip je založen na zpožděném zasílání obrazu jednomu oku. Respektive jedno oko dostane obraz, zatímco druhé oko dostává obraz na střídačku, stejný, jen se zpožděním.

Dynamické zobrazení: zpracování za užití softwaru pro analýzu obrazu. Dochází k propočtu scény (vypočítání pohybu). To má za následek „zkosení“ každého snímku tak, aby byl obraz vnímán jakoby ze strany.

Záleží však na kontrastu okrajů, užitém softwaru a hýbajících se předmětech. Je samozřejmé, že i v tomto případě musí televize disponovat 3D zobrazením. [14]

5.3.8 3D monitory

Rozlišují se “3D ready” a “3D” monitory. U “3D” monitorů je výhodou, že k jejich sledování nepotřebujeme 3D brýle, protože technologie je zabudována. Ovšem u “3D ready” potřebujeme zakoupit dodatečné vybavení jako 3D brýle a podobně. K tomu se “3D ready” dělí na pasivní a aktivní. U aktivních potřebujeme bateriově napájené brýle a také vyzářovač infračerveného světla k jejich správné funkci, to vše obsahuje Nvidia 3D kit, který je dobře dostupný. U pasivních používáme brýle bez jakéhokoli napájení, s čímž se každý člověk setkal v kině, pokud šel na film v 3D. [17]

5.4 Virtuální realita (VR)

Smyslem VR je prezentace digitálního světa v pokročilé simulaci, respektive umožnit uživateli integraci se simulovaným prostředím. To znamená, že uživatel bude mít dojem, jako by byl v daném prohlíženém prostředí. Využití nalézá v medicíně, sportu, armádě a podobně. Existují zařízení jak pro PC, tak pro mobilní telefony. [18]

5.4.1 Základní principy virtuální reality

Brýle pro virtuální realitu se řadí do třídy HMD, což znamená, že osoba má dané zařízení na hlavě.

Jde především o obrazový vjem, a podstatný rozdíl mezi VR a displejem je velikost, jakou jsou sledovány objekty. Po nasazení brýlí mají objekty reálnou velikost, na rozdíl od klasických monitorů, kdy jsou objekty o hodně menší než uživatel. Brýle mají vestavěnou dvojici displejů, pro každé oko jeden. Mezi každým displejem a okem je optická čočka, která je zodpovědná za vytváření 3D stereoskopického obrazu ohýbáním sledovaného 2D obrazu, tudíž každé oko vidí objekt z jiného úhlu, na rozdíl od klasických monitorů, kdy obě oči sledují jeden bod. Důležitá je snímací frekvence (FPS). Dostatečně vysoké FPS je nutné k plynulosti videa v očích; aby tomu tak bylo, je nutné, aby měla hodnotu alespoň 60 Hz. [19]

5.4.2 Pohyb hlavy

Součástí virtuální reality je možnost rozhlížení se v prostředí. Toho je dosaženo systémem 6DoF, díky němuž je obraz posouván ve všech osách podle náklonu nebo otočení hlavy za pomoci pohybových senzorů. Kromě gyroskopu se používá akcelerometr nebo magnetometr ke snímání pozice.

Při snímání pohybů hlavy je důležitá nízká odezva. Pokud odezva překročí hranici 50 ms, dá se nepravidelnost poznat při rozhlížení nebo zasekávání obrazu. Například brýle Oculus Rift mají odezvu 30 ms.

Nespornou součástí hraje také zvuk, který vylepšuje prostorový vjem. Jestli se něco odehraje za námi, tak to uslyšíme za námi, stejně jako v reálném světě. [19]

5.4.3 Pohyb těla

Nedílnou součástí jsou ovladače, díky nimž lze ovládat herní ruce jako vlastní. Jsou vybaveny senzory (gyroskop, akcelerometr apod.), které rozeznají přirozenou gestikulaci jako mávání či ukazování. [19]

5.4.4 Rozlišení

Plocha klasického monitoru zabírá část našeho zorného pole, tudíž obraz není vnímán stereoskopicky. Kvalita vjemu je proto dána hustotou pixelů jeho rastru PPI a plošným rozlišením monitoru. K vytvoření kvalitního obrazu stačí výrazně méně pixelů. Jelikož u VR se musí vyplňovat zorný úhel člověka celý, přechází se k úhlovým jednotkám zraku, mezi které patří FoV a PPD.

FoV uvádí úhel zorného pole zraku člověka a dělí se na plný zorný úhel (Full FoV) a stereoskopický zorný úhel (Stereo FoV), v němž lidský zrak vnímá obraz trojrozměrně.

PPD uvádí rozlišení částí lidského oka, které jsou nejcitlivější, jedná se o fovea, jamku nacházející se ve žluté skvrně v sítnici. Je dána hodnota 60 PPD na jeden úhlový stupeň.

Pomocí FoV a PPD lze spočítat, kolik pixelů zabírá naše zorné pole a kolik jich bude potřeba k vytvoření obrazu virtuální reality, kdy hodnoty FoV budou násobeny hodnotami PPD. Tabulka 2 ukazuje, kolik pixelů je třeba pro vytvoření virtuální reality pro daný obraz.

Tabulka 2: Zobrazení počtu pixelů pro jedno oko a k vytvoření virtuální reality [20]

FoV	Pixelů horizontálně	Pixelů vertikálně	Počet pixelů celkem
Full FoV	9 600	10 500	100 800 000
Stereo FoV	7 200	8 100	58 320 000
Monitor 4K	3 840	2 160	8 294 400
Monitor 2K	2 560	1 440	3 686 400
Full HD	1 920	1 080	2 073 600

Jelikož k zobrazení takového počtu pixelů s vhodným FPS je třeba grafických karet, které by poskytly dostačující výkon, a takové grafické karty nebudou několik budoucích generací grafických karet, tak je nutno se spokojit s daleko nižším rozlišením, a to takovým, které jsou dnešní grafické karty schopny zvládnout.

Tabulka 3: Tabulka ukazující rozlišení VR headsetů, které jsou omezeny výkonem dnešních grafických karet [20]

VR headset	Pixelů horizontálně [Kpix]	Pixelů vertikálně [Kpix]	Počet pixelů celkem [Mpix]	Pixelů pro obě oči [Mpix]
Oculus Rift DK2	0,96	1,08	1,0368	2,0736
Project Morpheus	0,96	1,08	1,0368	2,0736
HTC Re Vive	1,2	1,08	1,296	2,592

Tabulka 3 ukazuje rozlišení dnešních headsetů pro virtuální realitu, je zmíněný také Projekt Morpheus, což jsou VR brýle pro Playstation 4, ne pro PC. Označení brýlí Oculus Rift DK2 je označení pro Oculus Rift, ale ještě ve vývojové verzi. [20, 21, 22]

5.4.5 Snímková frekvence

Kromě vysokého počtu pixelů se nejedná o jediný problém, s kterým se grafické karty ve virtuální realitě musí vypořádat. S VR headsetem se může člověk volně pohybovat a otáčet na rozdíl od klasického PC s myší a monitorem. VR headsety jsou vybaveny sensory (magnetometry, akcelerometry, IR kamerami, gyroskopy apod.), jež sledují náš pohyb, vyhodnocují naše umístění v prostoru, informace o naší pozici, a tato data jsou následně zasílána do počítače. Počítač poté vyrendruje nové snímky pro VR brýle, které jsou zobrazeny. Vše zabírá čas, u klasické renderovací pipeline, CPU a GPU pracují na po sobě jdoucích snímcích, a to paralelně, tudíž nějaké zpoždění (input lag) nehraje velkou roli, u VR se toto ovšem mění.

V případě VR pipeline, CPU a GPU nepracují až tak paralelně, kdy CPU připravuje pro GPU několik snímků dopředu. VR vyžaduje nízké zpoždění, tudíž CPU připravuje snímek aktuální, nanejvýš snímek následující. Dá se říci, že latence snímku MtPL, což znamená dobu jeho tvorby od zaregistrování pohybu/změny uživatele až po vyobrazení snímku na HMD, je primární záležitost. Protože v případě vysoké latence snímků by docházelo ke ztrátě vjemu virtuální reality, navíc může dojít ke způsobení nevolnosti. MtPL by se měla pohybovat v rozmezí 10–20 ms. Na práci grafické karty a jejího vyobrazení na HMD připadá zhruba polovina této doby, což představuje nárok na snímkovou frekvenci 100–200 FPS pro grafickou kartu. To je podstatný rozdíl oproti PC, kdy se jak u hraní či čehokoliv jiného spokojíme s 60FPS. Tabulka 4 zobrazuje hodnoty MtPL, GPU latence, CPU latence a obnovovací frekvenci HMD dnešních VR headsetů. [23]

Tabulka 4: Znázornění hodnot MtPL, latence a FPS u grafických karet [23]

VR headset	HMD Refresh	MtPL	GPU Latence	GPU FPS
Oculus Rift SDK2	75 MHz	13,34 ms	6,67 ms	150 FPS
Project Morpheus	120 MHz	8,33 ms	4,16 ms	240 FPS
HTC Re Vive	90 MHz	11,11 ms	5,56 ms	180 FPS

5.4.6 Výkon grafických karet

Je zřejmé, že grafické karty musí zvládat vysoké požadavky na pixely, MtPS a tím i FPS. Spojíme-li tyto požadavky, vznikne pojem Fillrate, který udává, o kolik pixelů by se měla GPU postarat za 1 sekundu. V tabulce 5 je uvedeno, jaké jsou potřebné hodnoty pixelů, GPU latence, obnovovací frekvence GPU a Fill rate pro VR headsety. Pro srovnání jsou přidány monitor s rozlišením 4K, 2K a Full HD. [24, 25]

Tabulka 5: Tabulka s požadavky, pro představu jsou uvedeny i monitory v rozlišeních Full HD, 2K a 4K [24]

VR headset	Počet pixel [Mpix]	GPU Latence [ms]	GPU [FPS]	Fill rate [Mpix/s]
Oculus Rift DK2	2,0736	6,67	150	311,04
Project Morpheus	2,0736	4,16	240	497,66
HTC Re Vive	2,592	5,56	180	466,52
PC 4K	8,294	16	60	497,64
PC 2K	3,686	16	60	221,16
PC Full HD	2,074	16	60	124,44

5.4.7 Úsilí o nízké latence

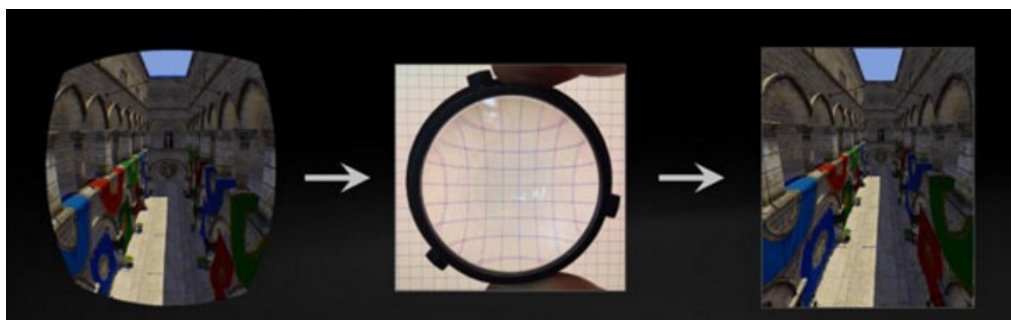
Následující podkapitoly se budou zabývat funkcemi, které podporují nízkou latenci.

5.4.7.1 TimeWarp

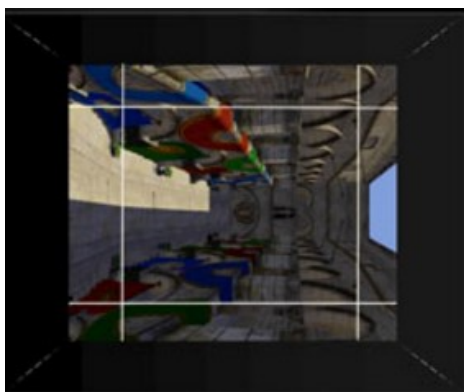
Představme si, že máme na očích VR brýle, otočíme-li hlavou, tento pohyb je zaregistrován senzory a nové souřadnice v prostoru jsou vysílány do PC, CPU poté připraví snímek a GPU začne snímek renderovat. Nestihne-li to GPU, tak se zobrazí starý neaktuální snímek, stejně to funguje u PC monitoru. U PC monitoru to příliš nevadí, ale u VR ano, protože uživatel vidí, že žádná reakce nenastala, tzv. judder. Od toho je timewarp, což znamená, že pokud GPU zjistí nemožnost renderování snímku, než začne obnovovací frekvence HMD, vezme snímek starý a upraví ho pomocí výpočetního shaderu podle aktuálních dat senzorů, respektive uměle dopočte snímek. Uživateli je poté zobrazen snímek transformovaný. [26]

5.4.7.2 Nvidia Multi-Res Shading

VR brýle mají před displeji optické čočky napomáhající vjemu širšího zorného pole lidského zraku; obrázek 18 nám poskytuje náhled. Obraz vysílaný na displej musí mít kompenzaci zkreslení optického lomu čoček. O tuto kompenzaci se postará GPU, dochází však ke ztrátě pixelů na okraji obrazu, ale lidské oko tyto okraje nevnímá jako střed obrazu. Funkce Nvidia Multi-res Shading rozdělí obraz při procesu kompenzace do 9 sekcí s odlišnými požadavky pro rozlišení. Prostřední sekce je renderována v nejvyšším rozlišení a okrajové sekce jsou renderovány v nižším rozlišení. Princip je znázorněn na obrázku 19. Výhodou je způsobení nižší latence při tvorbě snímků z důvodu práce s nižším počtem snímků. [26]



Obrázek 18: Nalevo obraz na displeji HMD, uprostřed funkce čočky, napravo jak to vidí uživatel [26]



Obrázek 19: Rozdělení obrazu do 9 sekcí [26]

5.4.7.3 Latest Data Latch

Tato funkce se zaměřuje na snížení zdánlivé latence a input lagu. U klasické pipeline, CPU kromě připraveného obrazu zašle na GPU také další informace. V případě VR se může jednat o údaje ohledně polohy VR headsetu, na základě kterých GPU vyrenderuje obraz. Pokud jsou tyto údaje o VR headsetu zasílány do CPU, tak se v pipeline určitě zdrží a GPU začne pracovat s neaktuálními daty, než se k ní dostanou. Funkce tudíž zajišťuje, že GPU si data ze senzorů VR headsetu přečte sama, a to těsně předtím, než s nimi začne pracovat. Nový snímek je tedy vždy aktuální. [26]

5.4.7.4 Direct Mode (Nvidia), Direct to Play (AMD)

Jelikož operační systémy nemají podporu pro HMD, proto se snaží displeje HMD řídit jako monitory. To by samozřejmě mohlo způsobit problémy při zobrazení, proto HMD komunikuje přímo s GPU, respektive role operačního systému je vyřazena. [26]

5.4.7.5 VR SLI (Nvidia), Affinity Multi-GPU (AMD)

Aby došlo ke zvýšení výkonu a snížení latence při renderování snímků, lze do rozdělení práce zapojit více grafických karet. Použijí-li se dvě grafické karty, potom každá GPU se postará o snímky pro jediné oko samostatně. Samozřejmě lze použít ještě více grafických karet. Metoda firmy Nvidia se jmenuje VR SLI, firma AMD se jmenuje Affinity Multi-GPU. Veškerá data pro všechny grafické karty jsou stejná, liší se jenom úhlem pohledu oka. [26]

5.5 Virtuální realita pro mobilní telefony

Výhodou chytrých telefonů je, že existuje spousta možností, jak využít jejich potenciál pro virtuální realitu. Je třeba podotknout, že mobilní musí mít alespoň gyroskop.

V dnešní době se používají především mobilní telefony se systémem Android a iOS. Současné nejlepší chytré telefony poskytují rozlišení QHD, nebo dokonce 4K; takové rozlišení dokážou poskytnout pouze mobilní telefony se systémem Android. Důležitý je také dostatečně výkonný mobil, jelikož i zde

je důležitá plynulost obrazu a citlivost displeje, proto dostatečně výkonný CPU a GPU jsou nutností. Záleží však na požadavcích, protože dnes lze pro VR použít téměř jakýkoliv chytrý telefon.

Existuje více aplikací, pomocí nichž lze toho dosáhnout. Mezi nejznámější patří VRidge, TrinusVR a Intugame VR Premium. Aplikace se stáhne do mobilu a počítače, kdy počítač plní funkci serveru, kterým je vše zpracováváno, a telefon plní funkci externího monitoru. Spojení lze uskutečnit přes Wi-fi nebo konektor USB. I zde po spuštění aplikace na mobilu je displej rozdělený na dva obrazy. Senzory jako akcelerometr a gyroskop nám poskytují informace o pohybu. Samozřejmou nutností jsou kompatibilní brýle, do kterých lze mobilní telefon uložit. Nevýhodou je, že obraz není tak plynulý ve srovnání s HTC Vive či Oculus Rift. A jako u plnohodnotné virtuální reality, i zde existuje řada doplňkových hardwarových ovladačů, pomocí nichž lze ovládat dané prostředí. [27, 28, 29]

6 Závěr o jednotlivých možnostech 3D vizualizace vektorkardiogramu

U 3D tiskáren se práce zaměřuje na popis jednotlivých technologií. Tabulka 6 uvádí čtyři nejlepší 3D tiskárny roku 2016 podle webu all3dp.com, včetně bodového hodnocení parametrů tiskáren, které jsou při výběru rozhodující. Příloha I zaznamenává společné parametry 3D tiskáren, včetně uvedení možnosti míst zakoupení a ceny jak na domácím trhu, tak na zahraničním trhu. Ceny byly počítány podle kurzu 30,35 £ a 24,80 \$.

Tabulka 6: Celkové zhodnocení 3D tiskáren

Název	Velikost tiskárny	Rozměry tisku	Barevný tisk	Dostupnost	Spojení s počítačem	Materiály	Cena	Součet bodů
Formlabs Form 2	10	5	1	4	9	5	5	39
Ultimaker 2+	7	10	1	10	6	7	7	48
Prusa i3 MK2	10	7	10	10	6	10	10	63
BCN3D Sigma	6	10	4	7	6	7	7	47

Výhodou 3D stereoskopické technologie je, že je velmi lehce dostupná i přesto, že je velmi málo využívána. Příloha II popisuje minimální systémové požadavky pro Nvidia 3D kit, včetně možnosti zakoupení a ceny celého setu nebo pouze brýlí, při použití stejného kurzu jako v předchozí tabulce. U brýlí je nutno podotknout, že se jedná o bateriově napájenou verzi. V příloze III se také nachází tabulka, která popisuje tři nejlepší monitory za rok 2016 pro 3D stereoskopickou technologii dle webu hubpages.com. Tabulka 7 uvádí bodové hodnocení nejvýznamnějších parametrů monitorů zmiňovaných v příloze III, které při koupi rozhodují.

Tabulka 7: Celkové zhodnocení počítačových monitorů pro 3D technologii

Název	Úhlopříčka	Odezva	Obnovovací frekvence	Typy konektorů	Dostupnost	Cena	Součet bodů
Philips 272G5DYEB	10	10	10	6	10	7	50
Asus VG248QE	8	10	10	10	10	10	58
Asus VG278HE	10	8	10	10	10	6	54

U VR brýlí jsem popsal dvojici Oculus Rift a HTC Vive, jelikož to jsou momentálně jediné dostupné VR brýle pro PC. Přesto, že je tato technologie rozvíjena již nějakou dobu, na domácím trhu nejsou příliš dostupné, respektive velké množství prodejců je nenabízí. Proto je práce zaměřena na zahraniční trh, kde jsou běžně dostupné. Příloha IV uvádí základní charakteristiku obou brýlí včetně hardwarových požadavků a ceny. Ceny na zahraničním trhu byly počítány podle kurzu 30,16 £ a 25,08 \$.

\$. Tabulka 8 uvádí bodové hodnocení vlastností, které mohou při koupi rozhodovat. Při použití HTC Vive či Oculus Rift je nutné, aby dané programy byly pro tato zařízení přizpůsobeny. Tabulka v příloze VI popisuje dvojici softwarů, které umožňují vývoj titulů pro HTC Vive či Oculus Rift.

Tabulka 8: Celkové zhodnocení brýlí virtuální reality pro počítače, 1 znamená nejnižší/nejhorší hodnocení, 10 znamená nejvyšší/nejlepší hodnocení

Název	Rozlišení	Hardwarové požadavky	Dostupnost	Cena	Součet bodů
HTC Vive	10	7	5	7 (ovladače již v ceně)	29
Oculus Rift	10	6	5	10	31

Příloha V poskytuje základní popis nejlepších VR brýlí pro mobilní telefony za rok 2016 podle webu wereable.com. Popis je zaměřen na základní parametry, které uživatele zajímají při výběru. Konektivitou brýlí s mobilním telefonem v tabulce v příloze V je myšleno, jak se může mobil spojit s brýlemi a posloužit k pohodlnějšímu využívání, například nabíjení během užívání. U všech brýlí lze použít dioptrické brýle, pokud je uživatel potřebuje, ale ne všechny jsou konstruované tak, aby je šlo používat pohodlně. Také jsou opět uvedeny ceny a možnosti zakoupení. Na zahraničním trhu byly ceny počítány podle kurzu 31,40 £ a 24,80 \$. Tabulka 9 uvádí bodové hodnocení nejdůležitějších parametrů rozhodujících při koupi brýlí.

Tabulka 9: Celkové zhodnocení brýlí virtuální reality pro mobilní telefony

Název	Dostupnost	Horizontální výhled	Podporované telefony	Cena	Součet bodů
Google Cardboard	10	5	10	10	35
Samsung Gear VR	10	8	5	4	27
Xiaomi Mi VR Play	10	3	8	8	29
Zeiss VR One Plus	10	8	8	2	28
Freefly	10	10	10	7	37
Mattel View-Master VR	10	-	10	8	28

Tabulka 10 popisuje bodové hodnocení hlavních parametrů aplikací, umožňujících virtuální realitu za použití mobilního telefonu. Parametrem konverze nepřipravených titulů v tabulce je myšleno to, že aplikace je schopná zrcadlit softwary, které nejsou pro VR stavěny vždy, ale obraz může být rozpolcený, může mít špatnou kvalitu a podobně. Jen aplikace Trinus VR je přizpůsobena tak, aby dokázala většinu softwarů, které nejsou pro VR stavěny, konvertovat ve kvalitě jako softwary připravené. Příloha VII poskytuje popis vlastností hlavních aplikací včetně jejich názvů.

Tabulka 10: Celkové zhodnocení programů umožňujících virtuální realitu za použití telefonu

	Podpora brýlí	Konverze nepřipravených titulů	Konektivita	Podporované platformy	Cena	Součet bodů
VR dige	10	5	10	6	6	37
TrinusVR	10	10	10	8	10	48
Intugame VR Premium	10	5	10	8	8	41

Veškeré bodové hodnocení všech příslušenství výše zmiňovaných technologií vychází z tabulek, které jsou uvedeny v přílohách. Hodnoceny byly základní parametry, kdy bodové ohodnocení 1 znamená nejnižší/nejhorsí hodnocení, 10 znamená nejvyšší/nejllepší hodnocení.

7 Výběr vizualizační metody

3D tisk nebyl vybrán z důvodu vysokých pořizovacích nákladů tiskárny a nepraktičnosti pro každodenní použití. Navíc příprava modelu na PC by byla zdlouhavá, a tím by se prodlužoval samotný proces vizualizace.

3D stereoskopické zobrazení nebylo vybráno, jelikož tato metoda se v podstatě již nepoužívá a jakýkoliv obraz či program musí být pro to speciálně připraven. Existují monitory umožňující tuto technologii bez brýlí a bez ohledu na používaný software, ale jejich kvalita není nijak oslnivá, a navíc obraz nemůže sledovat více lidí, protože monitory disponují kamerou, která sleduje pohyb očí uživatele, a podle úhlu, ze kterého se uživatel dívá, přizpůsobuje obraz.

Virtuální realita pro počítače rovněž nebyla vybrána z důvodu vysokých technických a pořizovacích nároků jak pro brýle, tak pro počítač.

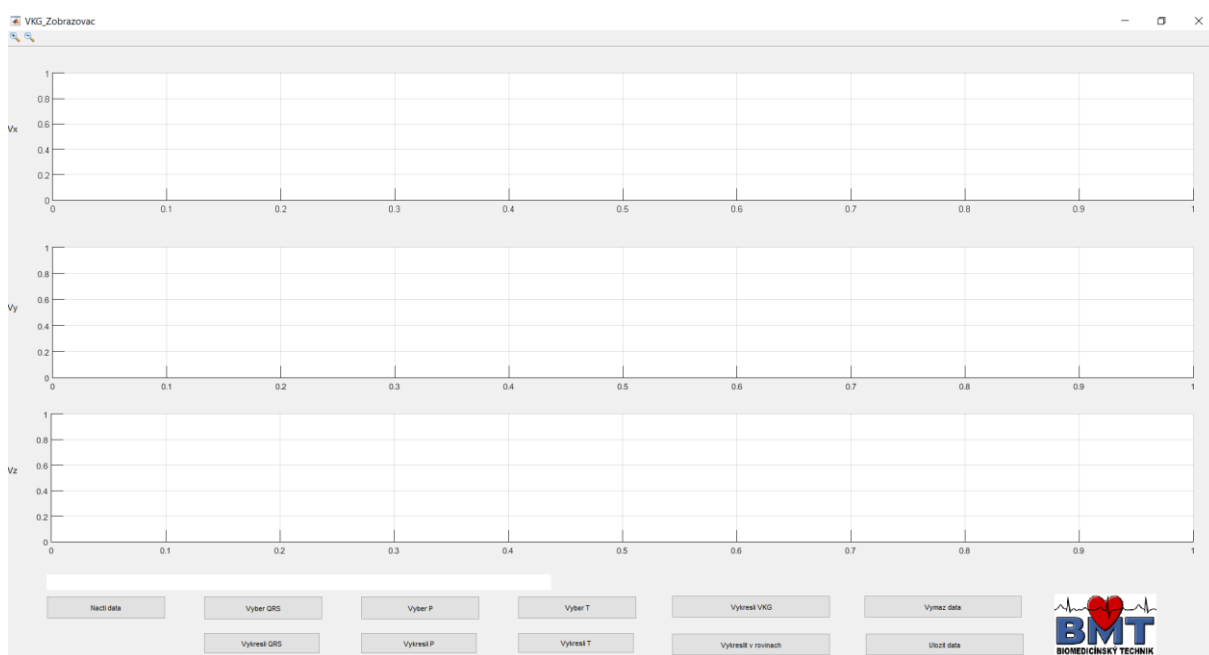
Byla vybrána virtuální realita pro mobilní telefony. Výhodami této technologie jsou její cena, výborná dostupnost, nízká technická náročnost a jednoduchost použití. Mobilní telefon, který disponuje gyroskopem a displejem o rozlišení alespoň Full HD lze pořídit v řádu několika tisíc korun. Navíc většina brýlí nemá vysoké pořizovací náklady, například Google Cardboard lze pořídit již za cenu několika stovek korun. Taktéž aplikace pro mobilní telefon vybraná pro tuto bakalářskou práci, která umožňuje tuto technologii, stojí v řádu několika stovek korun.

8 Softwarová realizace aplikace

Jako software pro tvorbu aplikace v této bakalářské práci byl vybrán interaktivní programovací a skriptovací jazyk MATLAB. Tvorba této aplikace byla konzultována s panem MUDr. Františkem Jurkem v jejím průběhu.

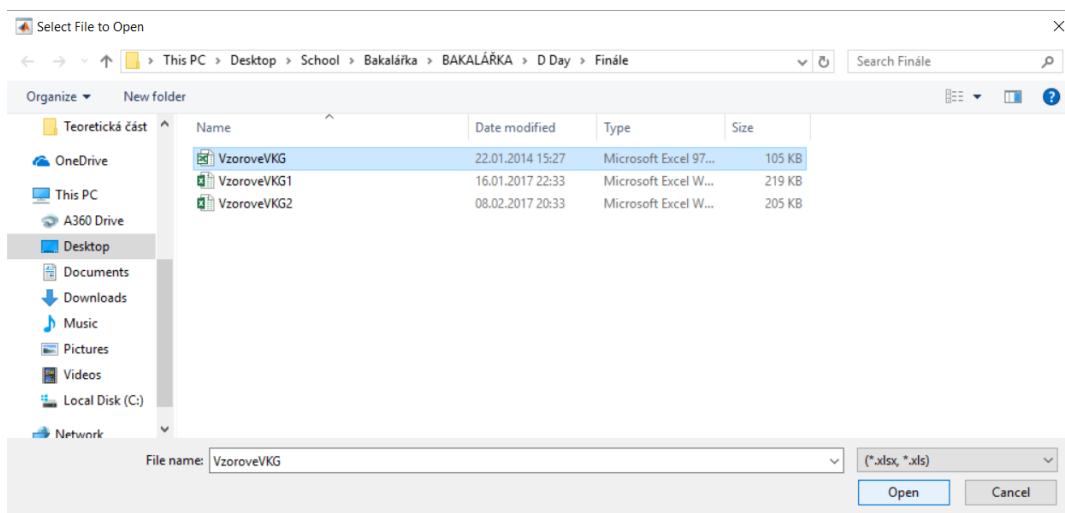
8.1 Popis ovládání aplikace

Aplikace se jmenuje *VKG_Zobrazovac* a byla zkompileována použitím příkazu *deploytool*. Její grafické uživatelské rozhraní po jejím spuštění lze vidět na obrázku 20. Skládá se z 11 tlačítek, 3 oken, kde se vykreslují data, 2 tlačítek pro přiblížení a oddálení a textové lišty, kde po načtení dat je zobrazen jejich adresář.



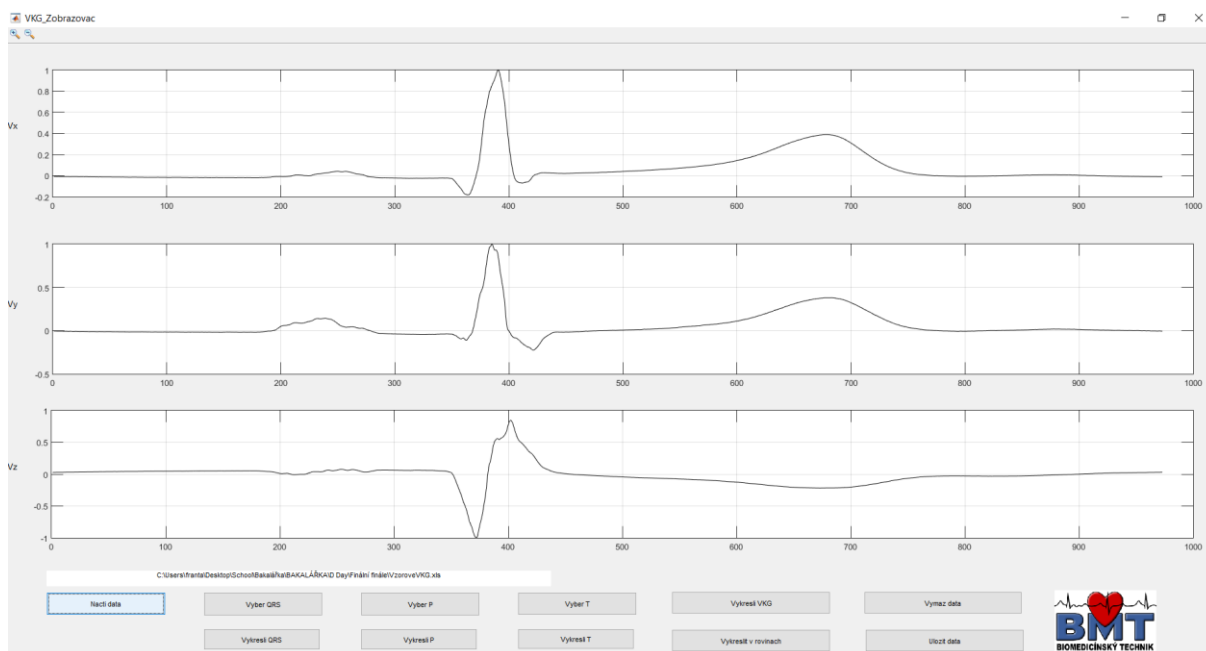
Obrázek 20: Grafické uživatelské rozhraní aplikace *VKG_Zobrazovac*

Chceme-li načíst data, musíme zmáčknout tlačítko *Načti data* v levém dolním rohu, načtení probíhá za užití funkce *uigetfile*, přístup k datům pomocí funkcí *fopen* a *xlsread*. Otevře se nám dialogové okno, pomocí kterého si vybereme data, poté v dialogovém okně zmáčkneme tlačítko *Open/Otevřít*, a tím se nám načtou data; zobrazeno na obrázku 21. Aplikace čte pouze data typu Excel, navíc data musí být ve třech sloupcích, kdy každý sloupec představuje jeden vektor, vykreslením každého vektoru zvlášť se zobrazí EKG křivka, a kombinací bodů z těchto křivek získáme VKG.



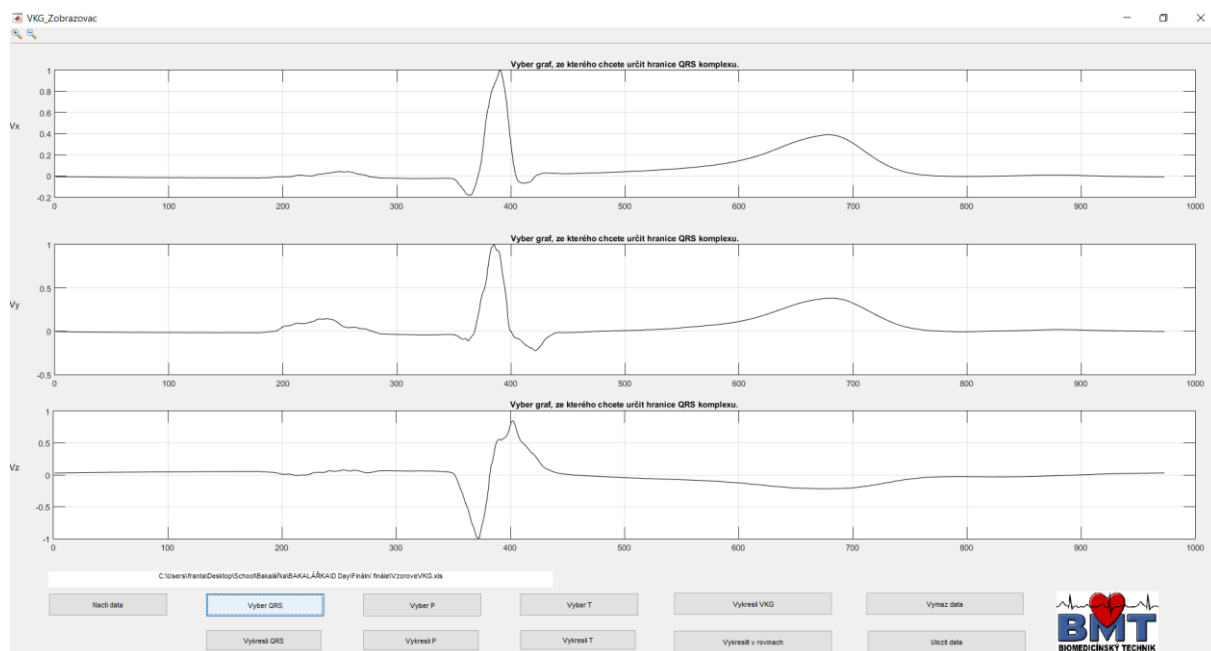
Obrázek 21: Dialogové okno pro výběr dat

Po těchto krocích se do tří oken vykreslí zvolená data; lze vidět na obrázku 22.

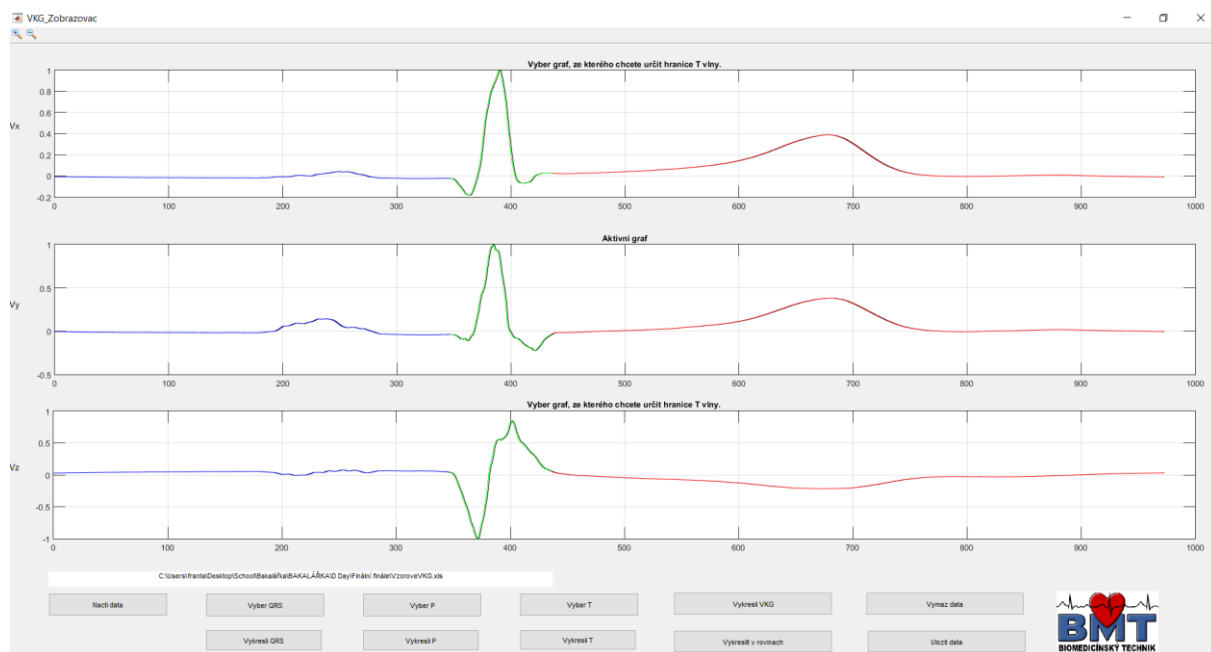


Obrázek 22: Vykreslení zvolených dat

Výběr zahájíme zmáčknutím tlačítka výběru pro příslušnou část. Poté se nad každým grafem objeví text, který uživatele vyzve, aby kliknul na příslušný graf, ze kterého chce provést výběr bodů; zobrazeno na obrázku 23. Po kliknutí na zvolený graf se nad ním objeví text *Aktivní graf*. Poté se objeví křížový kurzor a lze provést výběr bodů pro námi požadovanou oblast QRS komplexu, P vlny nebo T vlny z aktivního grafu. Výběr je zahájen stiskem levého tlačítka myši na začátek a ukončen stiskem pravého tlačítka myši v průběhu posledního výběru daného komplexu nebo vlny. Počet jednotlivých vybraných částí je neomezen. Jakmile dojde k výběru části v aktivním grafu, je barevně rozlišena, vybraná oblast bodů se přenesou na ostatní dva grafy, u nichž dojde taktéž k barevnému rozlišení. Kdyby uživatel v průběhu výběru kliknul na jiný graf, je proveden výběr z aktivního grafu.



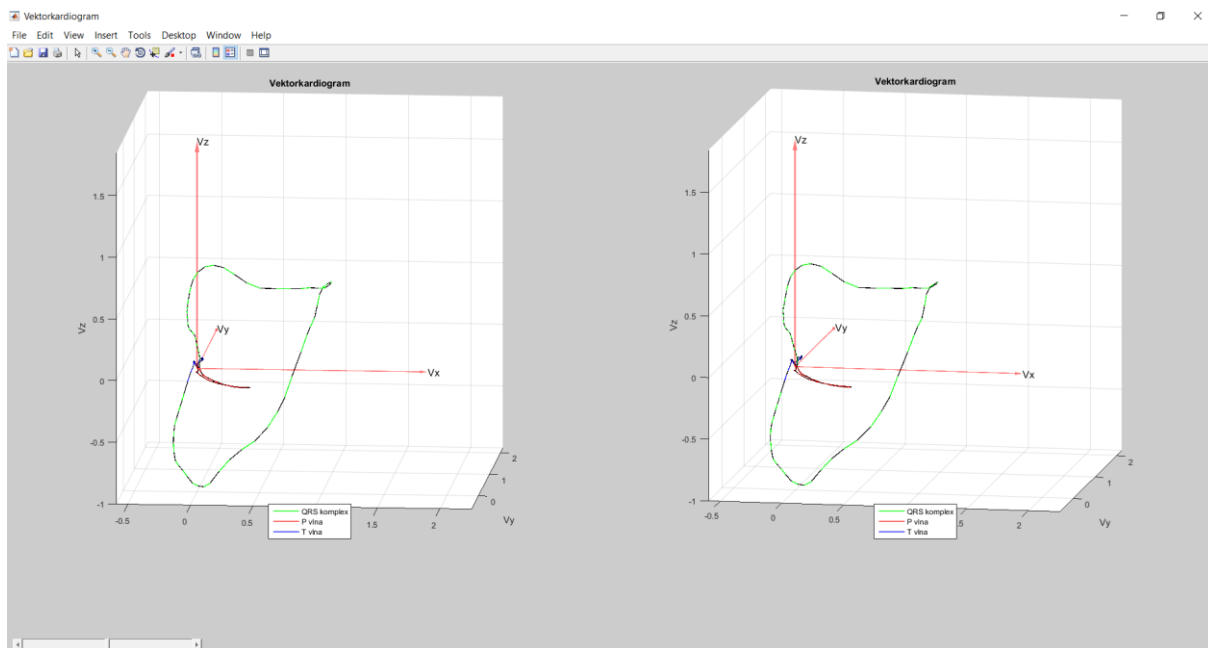
Obrázek 23: Text nad každým grafem, který uživatele vyzve, aby kliknul na graf, ze kterého chce provést výběr bodů – v tomto případě konkrétně pro QRS komplex



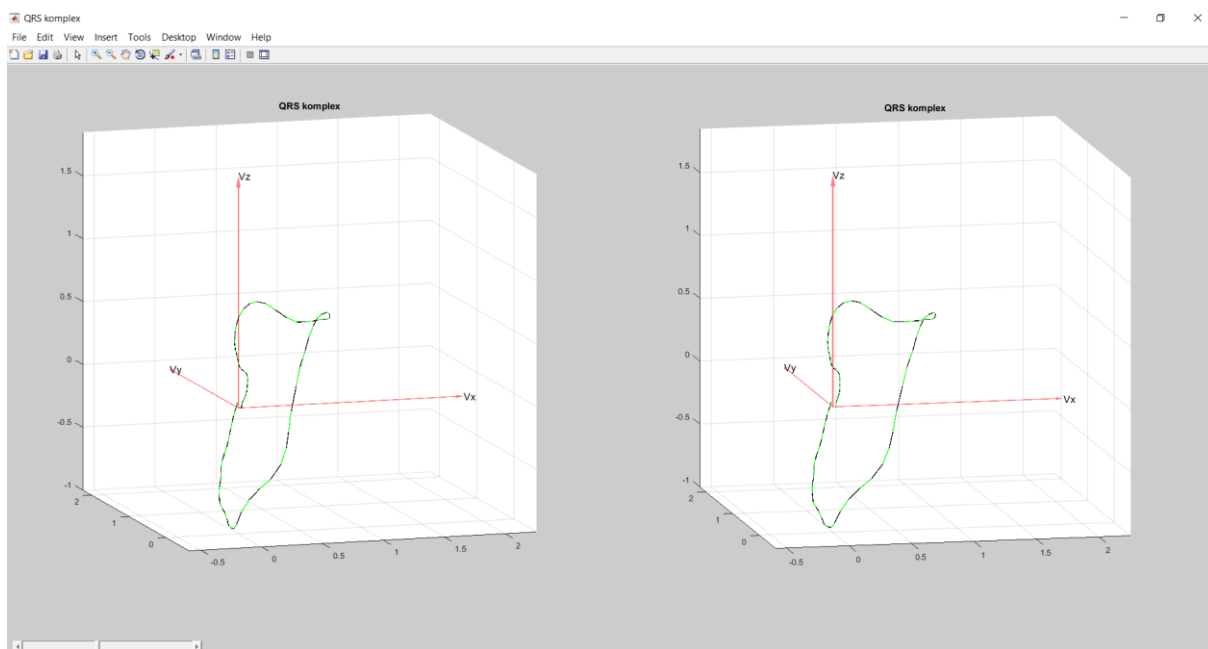
Obrázek 24: Jednotlivé vybrané části jsou barevně rozlišeny

Obrázek 24 znázorňuje barevné rozlišení jednotlivých částí. QRS komplex je znázorněn zelenou barvou, P vlna modrou a T vlna červenou barvou. Jakmile uživatel vybere jednotlivé části, může si zobrazit vektorkardiogram, nebo QRS komplex, P vlnu a T vlnu samostatně. Je také možnost zobrazení vektorkardiogramu ve třech rovinách, sagitální, frontální a transverzální. Vše je zobrazeno na obrázcích 25, 26, 27, 28, 29. Lze také vidět střídání barev s černou barvou, barva se střídá co jednu milisekundu, včetně šipek, které ukazují orientaci jednotlivých rovin. Otáčení křivek se ovládá lištou v levém dolním rohu. Před načtením dalších dat je nutno současná data vymazat, tím se smažou data

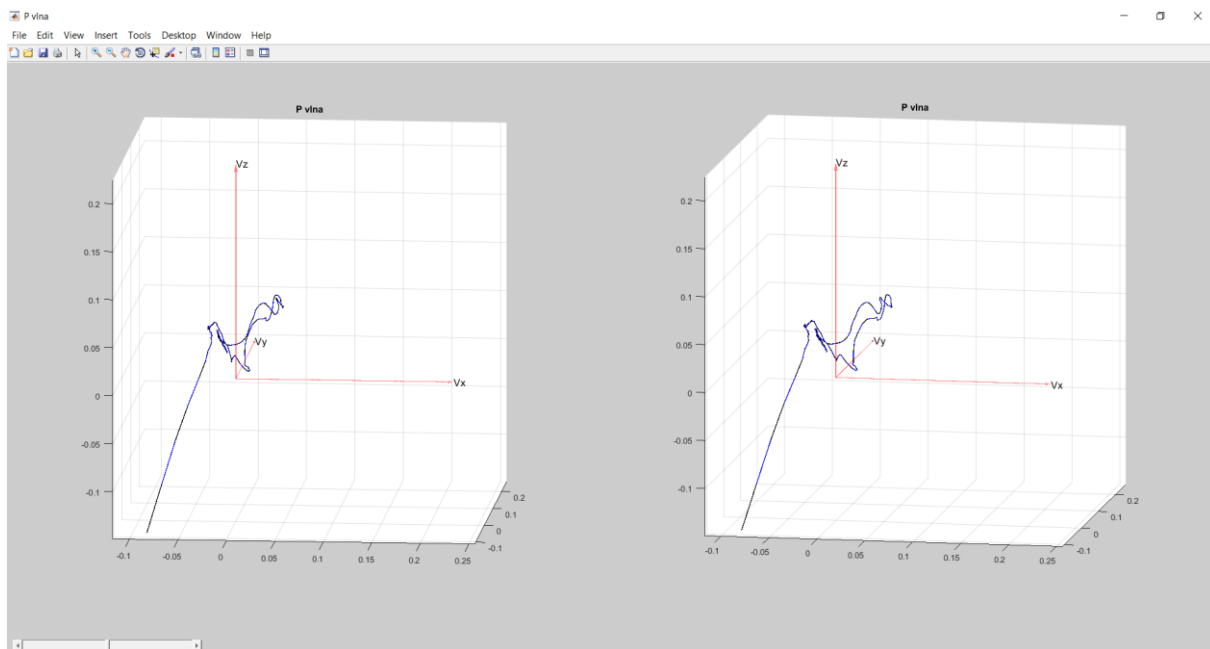
ze všech tří oken a zavřou se okna s vizualizacemi. Chce-li uživatel uchovat hlavní soubor v jiném formátu, kde se nacházejí veškerá načtená data, stačí kliknout na tlačítko *Uložit data*, vybrat formát, umístění a zvolit název souboru.



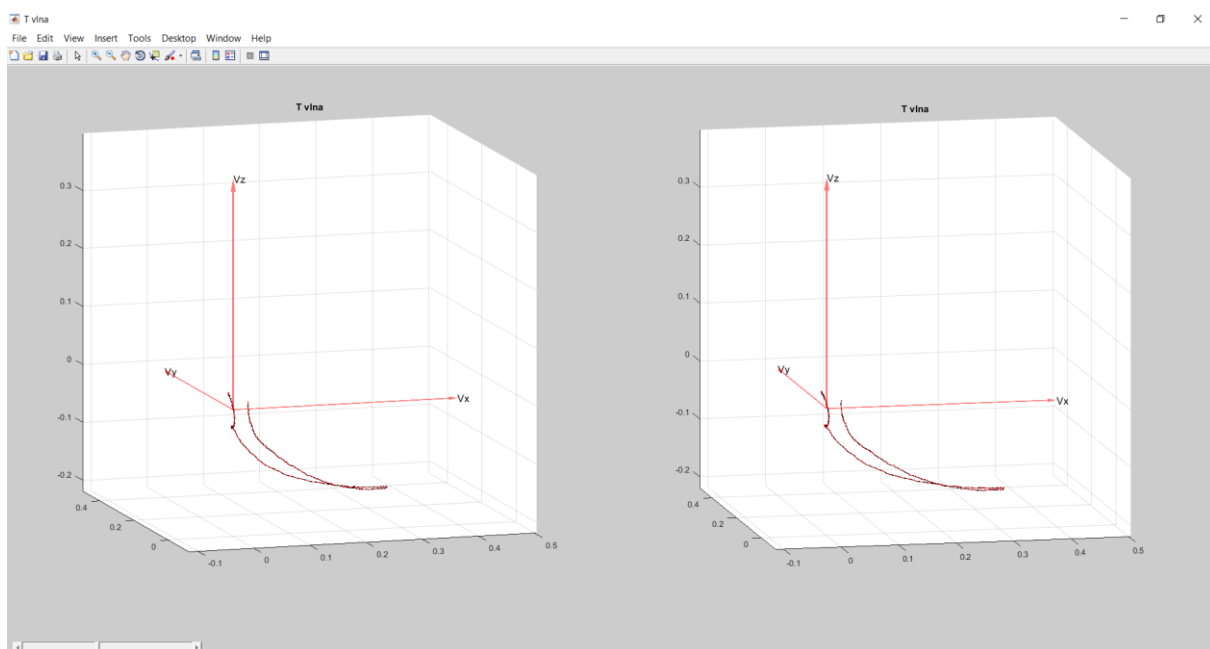
Obrázek 25: Vektorkardiogram



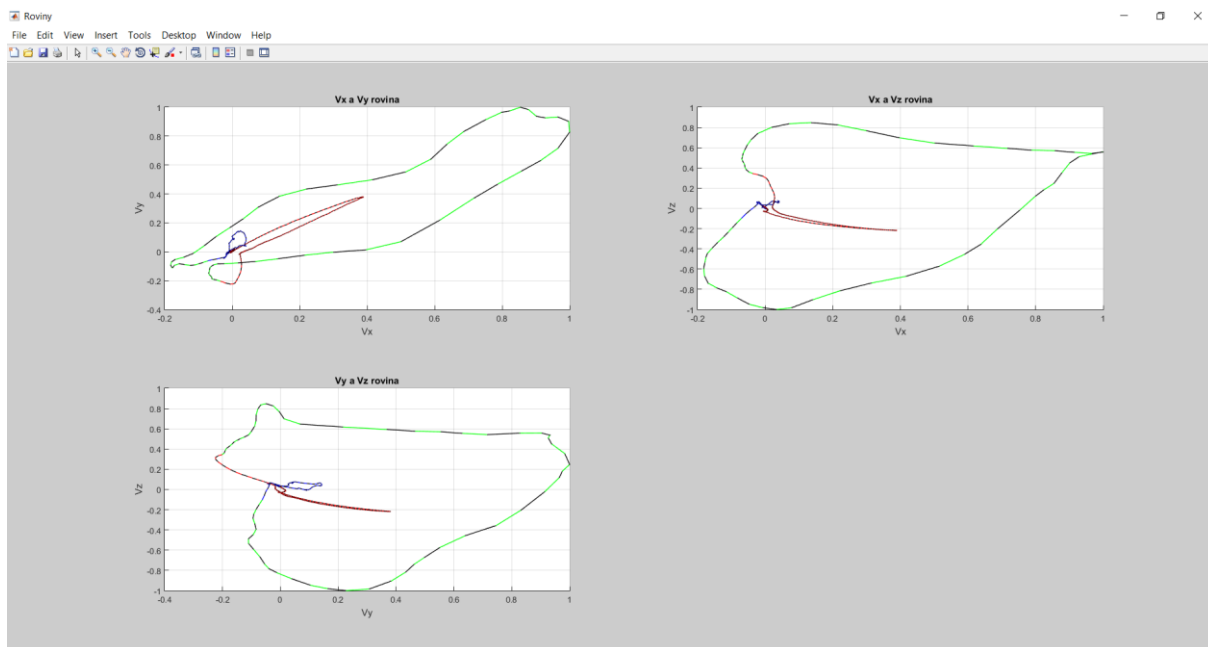
Obrázek 26: QRS komplex



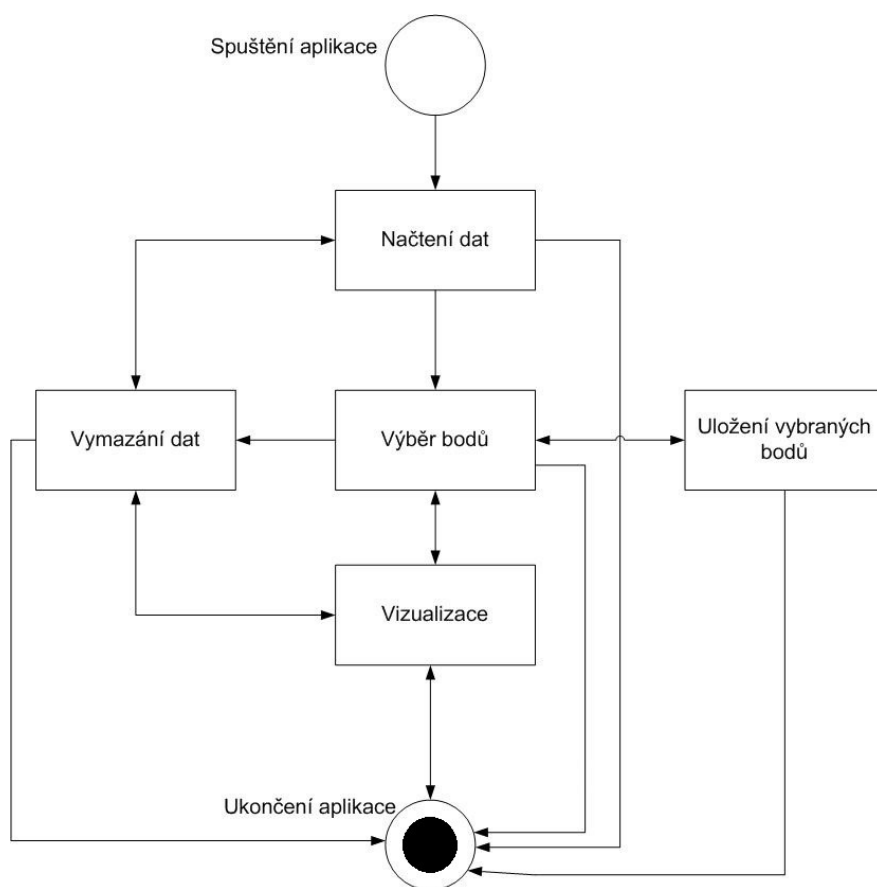
Obrázek 27: P vlna



Obrázek 28: T vlna



Obrázek 29: Roviny



Obrázek 30: Stavový diagram aplikace

Obrázek 30 uvádí stavový diagram aplikace, respektive stavy, do kterých se uživatel může s aplikací dostat.

8.2 Popis softwarové části aplikace

Aplikace je složena z následujících funkcí: `VKG_Zobrazovac.m`, `VKG_Zobrazovac.fig`, `select_points.m`, `object_1.m`, `object_2.m`, `object_3.m`, `VCG.m`, `VCG_P.m`, `VCG_QRS.m`, `VCG_T.m`, `mArrow3.m`, `VCG_subplot.m` a `clear_and_delete.m`. Všechny funkce, až na funkci `mArrow3.m`, jsou vlastní tvorby.

8.2.1 Funkce `VKG_Zobrazovac.fig` a `VKG_Zobrazovac.m`

Pro tvorbu grafického uživatelského prostředí jsem použil automatický generátor, který grafické prvky za mě vytvořil, a po jeho spuštění vybíráme grafické objekty a umísťujeme je na námi požadované místo. Nazývá se *GUIDE*, spustit ho lze napsáním do *Command Window* a jeho potvrzením, nebo využít základní menu *File/New/GUI*.

Vzhled uživatelského prostředí je uložen do funkce `VKG_Zobrazovac.fig`.

Ve funkci `VKG_Zobrazovac.m` se ukládá zdrojový kód uživatelského prostředí, který byl vygenerovaný po vytvoření vzhledu, respektive po umístění jednotlivých grafických prvků.

Z důvodu přehlednosti není psán kód přímo do funkce `VKG_Zobrazovac.m`, ale jsou vytvořeny vlastní funkce, na které se v ní odkazováno.

8.2.2 Funkce `select_points.m`

Funkce `select_points.m` slouží pro výběr bodů z oblasti grafů V_x , V_y a V_z . Podmínkou pro tuto funkci je, že používána data musí být vzorkována frekvencí 1 kHz. Uživatel si kliknutím na příslušný graf vybere ten, ze kterého provede výběr bodů. Poté vybírá oblasti QRS komplexu, P vln nebo T vln. Počet výběru jednotlivých částí je neomezen a uživatel může vybírat z vybraného grafu, i když klikne na jiný graf, dojde k výběru bodů pouze z aktivního grafu. Jakmile je vybrána část v jednom grafu, je barevně rozlišena a zároveň se vybraná oblast přenese na zbývající dva grafy, které se taktéž barevně rozliší. Výběr je ukončen stisknutím pravého tlačítka myši v průběhu posledního výběru daného komplexu nebo vlny.

Průběh funkce je následující:

Nejdřív si funkce definuje globální proměnnou s , do které se ukládá hodnota grafu, na který uživatel klikne, aby bylo v MATLABU definováno, ze kterého grafu je vybíráno. Do grafu jsou implementovány funkce `object_1.m`, `object_2.m` a `object_3.m`, které mění hodnotu proměnné s , která může nabývat hodnoty 1 (graf V_x), 2 (graf V_y) nebo 3 (graf V_z). Poté podle výběru typu křivky se mění nadpisy nad každým grafem a nad grafem výběru je nadpis *Aktivní graf*. Pomocí implementované funkce MATLABU `ginput` vybírá uživatel časové hranice jednotlivých částí. Vybrané části se ukládají do textových souborů, z nichž probíhají jednotlivé vizualizace.

8.2.3 Funkce VCG.m, VCG_P.m, VCG_QRS.m, VCG_T.m a mArrow3.m

Tyto funkce slouží pro samotnou vizualizaci vybraných křivek. Funkce *VCG.m* slouží pro vizualizaci vektorkardiogramu/ů, *VCG_P.m* pro vizualizaci P vlny, *VCG_QRS.m* pro vizualizaci QRS komplexu a *VCG_T.m* pro vizualizaci T vlny.

Průběh funkcí je následující:

Načtou se vybraná a časově synchronizovaná data a pomocí cyklů *for* a *if* jsou data vizualizována, navíc jsou časové úseky co jednu milisekundu barevně rozlišeny. Poté pomocí stažené funkce *mArrow3.m* [68] z oficiálních internetových stránek společnosti Mathworks se dokreslí do požadované vizualizace šipky, které ukazují orientaci rovin V_x , V_y a V_z . Výsledkem je okno složené ze dvou grafů, jejichž vlastnosti jsou vzpjaty skrze odposlouchávač, který byl zaveden příkazem *addlistener*. Ten po přijetí zprávy z kontrolního objektu *S* charakterizovaný v příkazu *uicontrol* vyvolá funkci *slider_callback*, který pozměňuje úhly pohledu pro každou křivku zvlášť pro výsledný efekt zvolené 3D vizualizace.

8.2.4 Funkce VCG_subplot.m

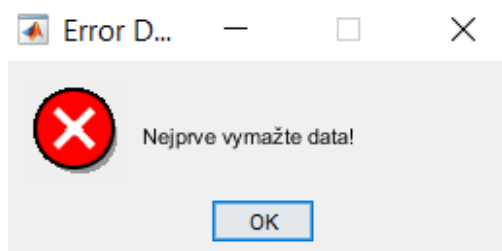
Touto funkcí je uživateli umožněna vizualizace vektorkardiogramu/ů v rovině frontální, sagitální a transverzální.

Průběh funkce je následující:

Nejdříve jsou vytvořeny tři grafy v jednom okně, v nichž jsou zobrazeny náhledy na vektorkardiogram v rovinách V_x a V_y , V_x a V_z , V_z a V_y . Poté pomocí cyklů *for* a *if* jsou od sebe barevně odlišeny časové úseky po jedné milisekundě.

8.2.5 Funkce clear_and_delete.m

Tato funkce je provázána s tlačítkem *Vymaž data*. Před případným načtením dalšího souboru je nutno vymazat všechny textové soubory, které se předtím vytvořily, vymažou se také vykreslená data v oknech, ve kterých se určují hranice jednotlivých částí, a zavřou se také veškeré grafické výstupy. Při pokusu načíst další data před jejich vymazáním se zobrazí dialogové okno s textem *Nejprve vymažte data!* Dialogové okno je na obrázku 31.



Obrázek 31: Dialogové okno s varováním při pokusu načíst další data bez vymazání předchozích

9 Důležité podmínky k dosažení zvolené 3D vizualizace a aplikace Trinus VR

Aby vůbec mohl vzniknout efekt zvolené 3D vizualizace, je nutné mít splněno několik podmínek, které v konečném důsledku zajistí požadovaný 3D efekt. Mezi které patří to, že objekt, který chceme vizualizovat, musí být složen ze dvou obrazů vedle sebe s různě nastavenými pozorovacími úhly, každý úhel zvlášť pro každé oko. Poté v našem případě musíme mít vhodný software, který bude zrcadlit obsah PC monitoru do mobilního telefonu. V této bakalářské práci se pro tento účel používá *Trinus VR*.

Níže se tato kapitola zabývá představením aplikace *Trinus VR*, jejími možnostmi, nastavením propojení aplikace s mobilním telefonem a PC, možnými komplikacemi a kompatibilitou mobilních telefonů a VR brýlí.

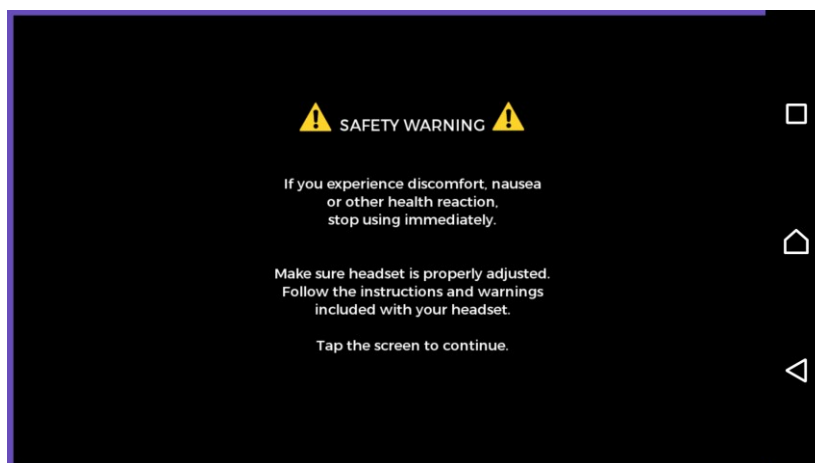
9.1 Představení aplikace Trinus VR

Aplikace Trinus VR slouží k umožnění virtuální reality v kombinaci s mobilním telefonem, počítačem a kompatibilními brýlemi uzpůsobenými pro tuto technologii. Její nespornou výhodou je, že není omezena jen pro určité softwary. Tato aplikace totiž zrcadlí PC obrazovku do mobilního telefonu bez ohledu na to, jaký software je používán nebo co se na ní děje.

9.2 Nastavení a propojení aplikace s mobilním telefonem a PC

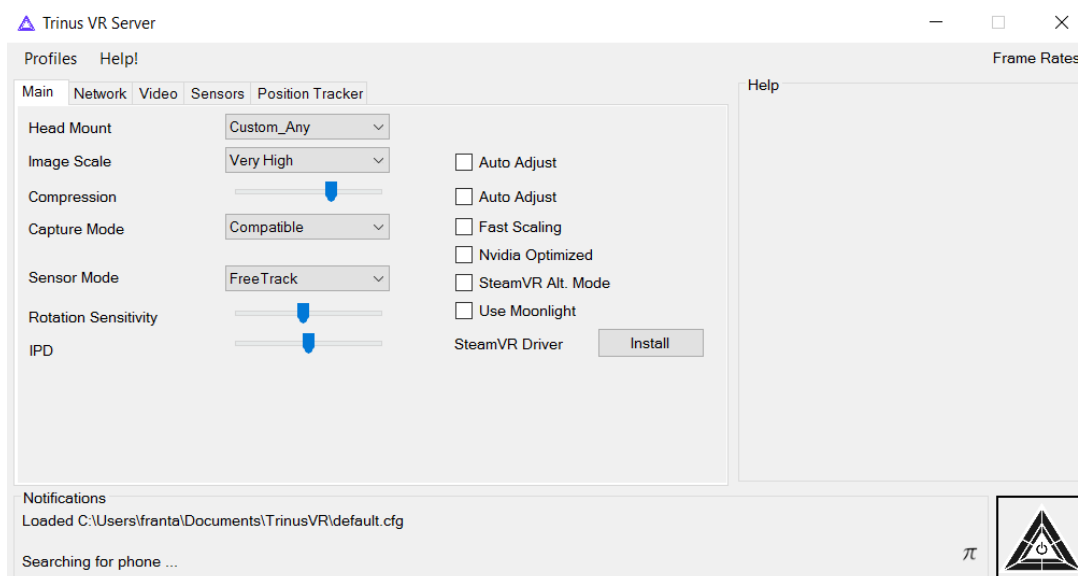
Před samotným propojením je nutno stáhnout aplikaci do mobilu s názvem *Trinus VR* z Google Play Store (mobilní aplikace, kde lze zakoupit aplikace pro mobilní telefony se systémem Android) a server na počítač s názvem *Trinus VR PC Server* z oficiálních stránek výrobce. Poté lze začít propojování aplikace s mobilním telefonem a PC.

Spustí se aplikace na mobilním telefonu a taktéž PC server. Na obrazovce mobilu se zobrazí bezpečnostní varování, které upozorňuje, že v případě nevolnosti a jiných potíží musí uživatel ihned přestat používat aplikaci a pro pokračování v aplikaci musí ťuknout na obrazovku mobilního telefonu; zobrazeno na obrázku 32.



Obrázek 32: Úvodní obrazovka mobilní aplikace Trinus VR

PC server žádné varování nemá a rovnou lze využít možnosti nastavení, které jsou umožněny ještě před propojením s mobilním telefonem; úvodní obrazovka je zobrazena na obrázku 33.



Obrázek 33: Úvodní obrazovka Trinus VR Server pro PC

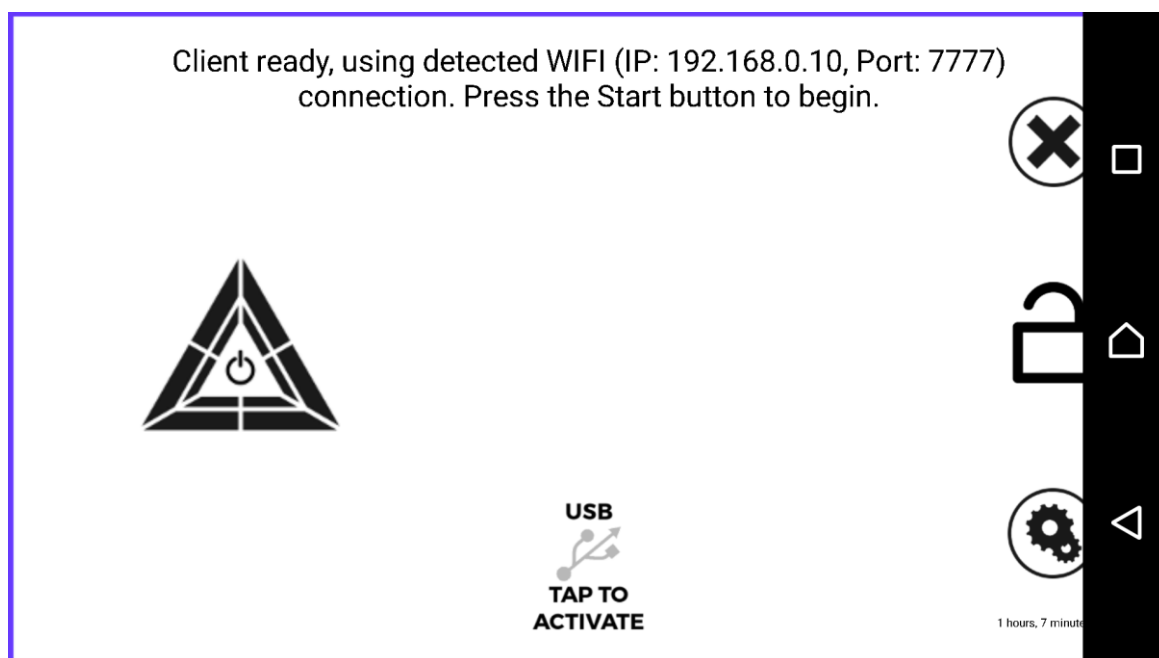
Nutno podotknout, že tento program je vytvořen primárně pro hráče, a v této bakalářské práci se používá proto, že umožňuje jednoduché využití této technologie pro mobilní telefony a není omezen jen na určité softwary. Proto zde uvedu pouze nastavení, která jsou nutná pro pohodlné používání v rámci této bakalářské práce.

Na úvodní obrazovce PC serveru po jeho spuštění u možnosti *Capture Mode* zvolíme *Compatible*. Možnost *Sensor Mode* nastavíme na *Free Track*. Tyto možnosti je nutno zvolit ještě před samotným propojením, protože poté jejich změna není možná, v opačném případě by bylo nutné zrušit propojení, nastavit a opět propojit. Před nebo po připojení nastavíme možnost *Head Mount* a vybereme z nabídky. Tato možnost nám dává na výběr, jaké brýle chceme použít a pro jakou velikost displeje mobilního telefonu. Přímá podpora je pro brýle Google Cardboard (pro velikosti displeje 4,7" a 5,5"), Generic (pro velikosti displeje 4,7" a 5,5"), Dive (pro velikosti displeje 5" a 7"), Homido (pro velikosti

displeje 4,7", 5,1" a 5,5"), FreeFly (pro velikosti displeje 4,7", 5,1" a 5,5"), VR One a Samsung Galaxy Gear VR. Přímá podpora znamená, že nastavení dvou obrazů je již přednastaveno tak, aby kvalita vjemu byla co nejlepší. Existuje také možnost *Custom_Any*, což znamená, že můžeme použít doslova jakékoliv brýle, tudíž nejen ty, které mají přímou podporu, a poté v nastavení obrazu si můžeme obraz přizpůsobit tak, aby nám co nejlépe vyhovoval pro dané brýle. Nastavení obrazu je doporučováno po propojení, abychom viděli, jak obraz vypadá.

Poté klikneme nahoře na záložku *Video*, vlevo nahoře u možnosti *Capture Cursor*, „odháčkujeme“ tuto možnost. Touto volbou zajistíme ovládání pomocí PC myši, a proto bude na obrazovce mobilního telefonu zobrazena. U možnosti *Fake 3D* zvolíme *Disabled*, následně u možnosti *Max Frame Rate*, která znamená, jak velká má být snímková frekvence, zvolíme námi požadovanou hodnotu. Záleží na kvalitě připojení a výkonu PC. Samozřejmě platí, že čím vyšší je zvolená hodnota, tím menší je latence, ale více je zatěžováno PC. Hodnota, kterou by mělo zvládat každé PC, je 80. Tyto možnosti je nutno opět zvolit ještě před samotným propojením. Po těchto nastaveních, včetně nastavení v předchozím odstavci, můžeme začít propojovat mobil a PC pomocí serveru a aplikace.

Propojení lze realizovat pomocí WiFi nebo USB. Pokud je zvolena možnost WiFi, před spuštěním aplikace zapneme WiFi na mobilním telefonu, po úvodní obrazovce uvidíme obraz, který je na obrázku 34.

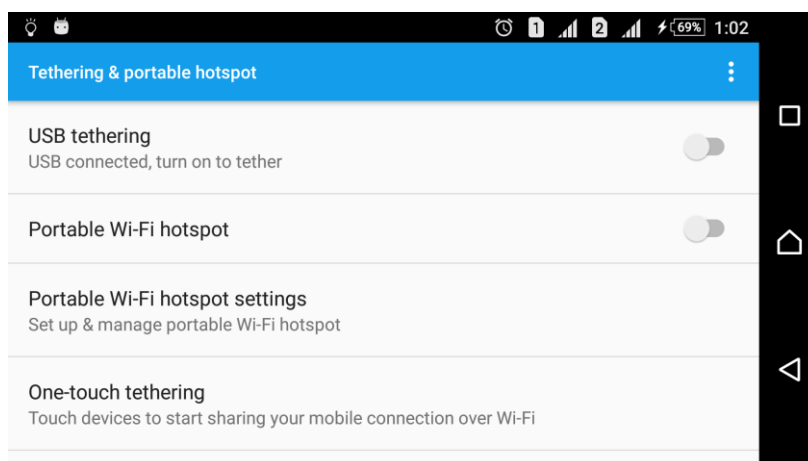


Obrázek 34: Obraz, který vidíme po úvodní obrazovce

Při volbě propojení přes WiFi nás zajímá ikonka vlevo ve formě trojúhelníku se znakem zapnout uprostřed, klikneme na tuto ikonku, poté v programu pro PC server vpravo dole se klikne na zcela stejnou ikonku. Poté se začne propojovat mobilní telefon s PC a následně zrcadlit obsah PC do mobilního telefonu.

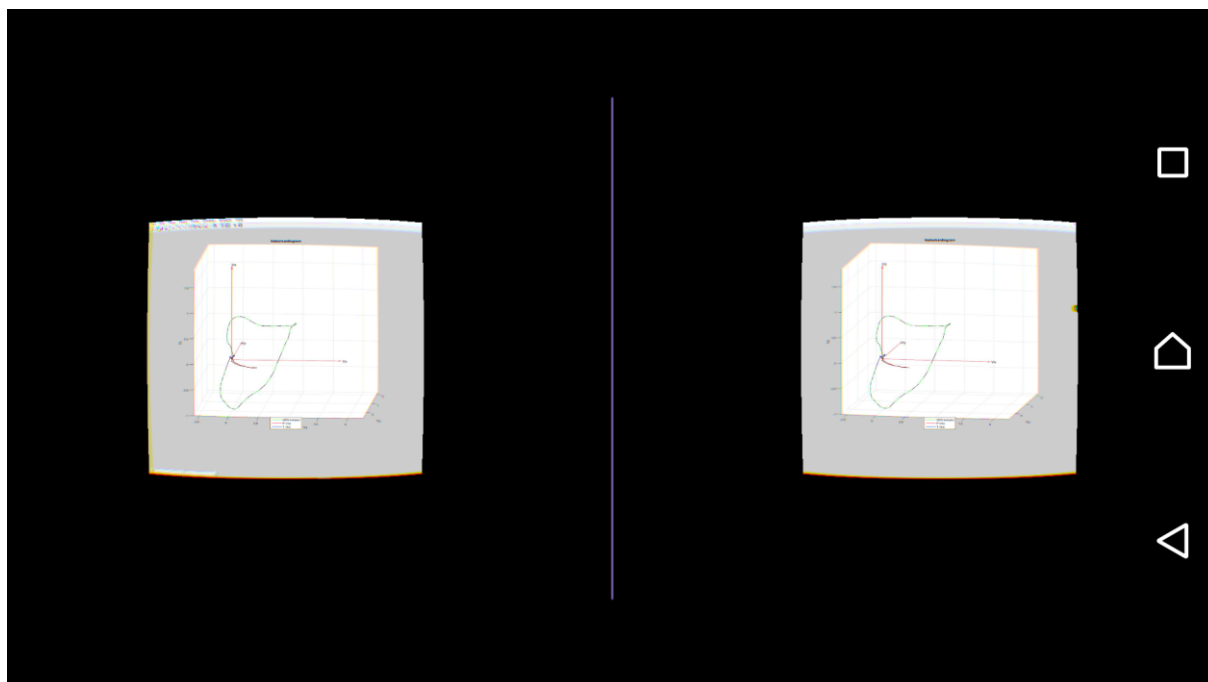
Je-li místo WiFi propojení zvolena možnost přes USB, je postup téměř totožný. Jak lze vidět na obrázku 34, uprostřed dole je možnost *USB, TAP TO ACTIVATE*, klikneme na ni, poté se nám na

mobilním telefonu objeví možnost, kde musíme povolit USB Tethering (viz obrázek 35), povolíme, vrátíme se zpět. Zbývající postup je zcela totožný.



Obrázek 35: Obrazovka mobilu, kde se povoluje USB Tethering (zcela nahoře)

Pokud jsme zvolili brýle s přímou podporou, je mobilní telefon připraven k použití ihned, pokud ne, musíme obraz ještě nastavit. Obraz mobilu před nastavením zobrazuje obrázek 36. Je samozřejmé, že obraz nastavujeme podle brýlí, které používáme tak, aby nám maximálně vyhovoval.



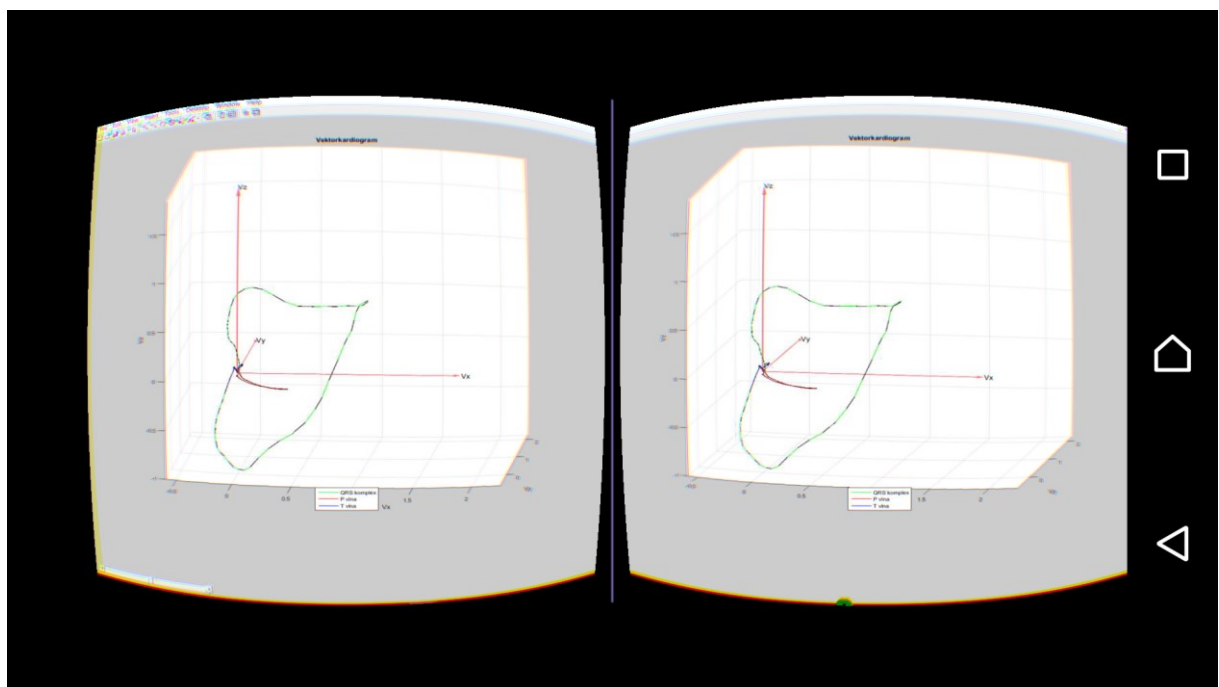
Obrázek 36: Obraz mobilu před nastavením parametrů při volbě brýlí *Custom_Any*

Chceme-li nastavit obraz, klikneme na program *Trinus VR PC Server* nahoře na záložku *Video* a v možnosti *Adjust Lens* nastavíme obraz mobilního telefonu do požadovaných parametrů.

Mezi možnostmi nastavení obrazu patří:

- Screen X – posunutí obrazu podél osy X

- Po nastavení parametrů je mobilní telefon připraven k použití. Příklad vhodného nastavení poskytuje obrázek 37. Konkrétně je obraz nastaven pro brýle české výroby Quantum Bee VR S; zobrazeno na obrázku 38.



Obrázek 37: Příklad vhodného nastavení obrazu



Obrázek 38: Brýle Quantum Bee VR S [69]

9.3 Možné komplikace

Mezi možné komplikace patří to, že není zachycena celá obrazovka PC. To znamená, že velikost jednotlivých položek na PC máme nastavenou na hodnotu větší než 100 %.

Pro Windows 8 a 10 změnu provedeme následovně:

1. Klikneme pravým tlačítkem myši na obrazovku monitoru
2. Zvolíme možnost nastavení *obrazovky/displeje*
3. V nastavení klikneme na záložku *Displej*
4. U možnosti velikosti jednotlivých položek zvolíme možnost 100 %

Pro Windows 7 je postup následující:

1. Klikneme na tlačítko *Start* a u ikony *Ovládací panely* zvolíme možnost *Otevřít*
2. Poté najdeme položku *Vzhled a přizpůsobení*
3. Klikneme na možnost *Zobrazení*
4. Zvolíme možnost 100 %

U některých aplikací je možné, že nepůjdou spustit, když bude tato změna provedena před jejich spuštěním. Tuto změnu je proto dobré provést až po jejich spuštění, poté bude zachycen celý obraz.

9.4 Kompatibilita a požadavky

Program *Trinus VR PC Server* je kompatibilní se všemi brýlemi, a to díky nastavení obrazu *Adjust Lens*, který je zmiňován v podkapitole 9.2. Pro zvolené brýle stačí vybrat kompatibilní mobilní

telefon, nastavit a vše je připraveno k použití. Použijeme-li telefon značky Samsung Galaxy S5 a výše v kombinaci s brýlemi Samsung Galaxy Gear VR, je nutno ještě stáhnout mobilní aplikaci *Cardboard Enabler for Gear VR* z Google Play Store. Tato aplikace stojí 39 Kč a zajišťuje, že po zasazení telefonu do brýlí Samsung Galaxy Gear VR se automaticky nezobrazí aplikace od Samsungu umožňující použití pouze určitých mobilních aplikací, ale můžeme tuto technologii využívat v kombinaci s těmito brýlemi, kompatibilním mobilním telefonem a aplikací *Trinus VR*.

Mezi doporučené požadavky pro mobilní telefony patří to, aby obsahoval CPU Snapdragon 800, ekvivalentní nebo lepší. Poté je obecně doporučováno, aby displej mobilního telefonu disponoval rozlišením alespoň Full HD. Posledním požadavkem je, aby mobilní telefon disponoval platformou Android nebo iOS, Windows Phone není podporován. Doporučenými požadavky pro PC se rozumí platforma Windows 7 nebo novější, CPU Intel i5 4. generace, popřípadě CPU AMD FX-6350 nebo lepší.

10 Testování s poskytnutými daty a zhodnocení dosažených výsledků

Poslední částí bylo testování zvolené 3D vizualizace lékařem MUDr. Františkem Jurkem. K testování byly použita stejná data jako v kapitole 8, která mi poskytl doc. Ing. Marek Penhaker, Ph.D. Testování proběhlo za použití telefonu Sony Xperia Z3, který splňuje požadavky a zároveň je kompatibilní s brýlemi Google Cardboard a Quantum Bee VR S.

Testování proběhlo pouze na těchto brýlích, protože jedním z cílů bylo zjistit, jestli zvolená metoda 3D vizualizace má smysl. Panu MUDr. Františku Jurkovi bylo vysvětleno ovládání aplikace *VKG_Zobrazovac*, kdy vývoj této aplikace probíhal ve spolupráci s ním. Poté mu bylo vysvětleno ovládání aplikace *Trinus VR* a *Trinus VR PC Server*. Kde jsem se zaměřil na hlavní nastavení, které je plně dostačující v rámci této bakalářské práce.

V konečném důsledku MUDr. František Jurek zhodnotil, že brýle Quantum Bee VR S poskytují o mnoho lepší 3D vjem než brýle Google Cardboard, a zvolenou metodu zhodnotil jako užitečnou a zároveň označil jako vhodnou pro další rozvoj v případné navazující diplomové práci. Zároveň také podotkl, že chvíli potrvá, než si uživatel zvykne na tento systém zvolené 3D vizualizace včetně práce s tímto systémem. V příloze VIII na CD je uveden komentář a hodnocení MUDr. Františka Jurka zvolené 3D vizualizace a tématu bakalářské práce.

11 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit aplikaci, kde lze zobrazit vektorkardiogram a jeho následnou 3D vizualizaci pomocí zvolené metody.

První část mé práce je věnována biosignálům a jejich stručnému popisu. Dále je také popsána elektrokardiografie a vektorkardiografie.

Vektorkardiografie je diagnostická metoda užívaná v medicíně k zachycení elektrické aktivity srdce jako vektor v trojrozměrném zobrazení. Nejpoužívanější metoda pro měření vektorkardiografie využívá Frankovy ortogonální svody. Výsledný záznam se nazývá vektorkardiogram a je měřen ve třech navzájem kolmých rovinách – sagitální, frontální a transversální. Data, ze kterých je složen, v sobě zahrnují tři vektory – X, Y a Z. Zobrazením dat z každého vektoru samostatně získáme elektrokardiogram, spojením bodů z jednotlivých elektrokardiogramů získáme vektorkardiogram.

V teoretické části je zahrnuta také rešerše, která se zabývá jednotlivými možnostmi 3D vizualizace vektorkardiogramu. Jedná se o metody 3D tisku, 3D stereoskopie virtuální reality pro PC a mobilní telefony. Jako metoda 3D vizualizace byla vybrána virtuální realita pro mobilní telefony kvůli nejlepší ceně, dostupnosti, nízké technické náročnosti a jednoduchosti použití.

Pro vytvoření aplikace zobrazující vektorkardiogram byl zvolen MATLAB. Kapitola 8 je zaměřena na popis ovládání vytvořené aplikace a popis softwarové části. Poslední kapitola praktické části je zaměřena na představení, popis ovládání, kompatibilitu a možné komplikace aplikace *Trinus VR*, která byla vybrána pro tuto bakalářskou práci, včetně zdůvodnění této volby.

Poslední částí bylo testování a zhodnocení MUDr. Františkem Jurkem. Kompletní komentář a hodnocení MUDr. Františka Jurka je uvedeno v příloze VIII na CD.

V průběhu realizace této bakalářské práce jsem získal zajímavé poznatky z oblasti vektorkardiografie, práce s MATLABEM a různých možností 3D vizualizace.

12 Seznam použité literatury

- [1] PENHAKER, Ph.D., Ing. Marek a Ing. Martin AUGUSTYNEK. *Zdravotnické elektrické přístroje 1*. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - technická univerzita Ostrava, 2013, s. 21-25. ISBN 978-80-248-3107-7.
- [2] HEŘMAN, RNDr. Petr. *Biosigály z pohledu biofyziky*. Praha: Petr Heřman - DÚLOS, 2006, s. 7. ISBN 80-902899-7-5.
- [3] HAVLÍK, Jan. *Biologické signály*. Praha, 2009. Dostupné také z: http://noel.feld.cvut.cz/vyu/x31zle/Lectures/01_Signaly.pdf
- [4] JAROŠ, René. *Transformace 12-svodového EKG do VKG*. Ostrava, 2015. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Ing. Michal Vožda.
- [5] BRYCHTOVÁ, Hana. *Ošetrovatelská péče o pacientku s fibrilací síní přijatou k elektrické kardioverzi*. Praha, 2013. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze, 3. lékařská fakulta, Ústav ošetrovatelství. Vedoucí práce Mgr. Jana Heřmanová.
- [6] RIERA, M.D., Andres Ricardo Pérez, Augusto H. UCHIDA, M.D., CelsoFerreira FILHO, M.D., Adriano MENEZHINI, M.D., Celso FERREIRA, M.D., Edgardo SCHAPACKNIK, M.D., Sergio DUBNER, M.D. a Paulo MOFFA, M.D., PH.D. Significance of Vectorcardiogram in the Cardiological Diagnosis of the 21st Century. *Clinical Cardiology* [online]. Wiley, 2007, (7), 319-322 [cit. 2016-11-20]. DOI: 10.1002/clc. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/clc.14/pdf>
- [7] Bc. Martin Sedlár. *Vektorkardiografie pro dlouhodobé záznamy*. Brno, 2010. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Jana Kolářová, Ph.D.
- [8] MALMIVUO, Jaakko a Robert PLONSEY. *Bioelectromagnetism - Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields* [online]. New York: Oxford University Press, 1995 [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: <http://www.bem.fi/book/16/16.htm>
- [9] Types of 3D printers or 3D printing technologies overview. In: *3D Printing from scratch* [online]. [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: <http://3dprintingfromscratch.com/common/types-of-3d-printers-or-3d-printing-technologies-overview/>
- [10] STRATIL, Richard. *Příprava 3D modelu pro 3D tisk*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Fakulta informatiky. Vedoucí práce Mgr. Jiří Chmelík, Ph.D.
- [11] Cranio-Oss Individuální kraniální implantát. *LASAK s.r.o. – implantáty a materiály pro kostní regeneraci* [online]. [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <https://www.lasak.cz/pro-odbornou-verejnost/produkty/neurochirurgie/cranio-oss>
- [12] Cranio-Oss Individuální implantát. In: *LASAK s.r.o. – implantáty a materiály pro kostní regeneraci* [online]. Praha, s. 1-4 [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: https://www.lasak.cz/storage/get/584-2012-06_cranio-oss_letak_cz_web.pdf

- [13] SPECIFIKACE MATERIÁLU: DYNEEMA® VLÁKNO. In: Odetka a.s. - přední český výrobce knotů do svíček, tkaniček do bot, lešenářských sítí, chirurgických nití, padákových šňůr, technických šňůr a oděvních šňůr [online]. [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: http://www.odetka.cz/net20/cz/specmat_dyneema.aspx/
- [14] TECHNOLOGIE 3D ZOBRAZENÍ. *Audio-Video návody - převody videa a zvuku* [online]. [cit. 2016-11-24]. Dostupné z: http://www.avnavody.cz/?sekce=vrch_jaknaav-3d
- [15] COLDEWEY, Devin. A guide to 3D display technology: its principles, methods, and dangers. In: *TechCrunch - The latest technology news and information on startups* [online]. 2010 [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <https://techcrunch.com/2010/06/19/a-guide-to-3d-display-technology-its-principles-methods-and-dangers/>
- [16] Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky. *3D zobrazovače* [online]. 2013 [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: http://www.urel.feec.vutbr.cz/web_documents/studium/predmety/MVDK/FRVSg/zobrazovace.pdf
- [17] DEV, Akhil. 8 Best 3D Gaming Monitors for Heavy Duty Gamers 2016. In: *HubPages* [online]. 2016 [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://hubpages.com/technology/Top-5-3D-Gaming-Monitors-for-Heavy-Duty-Gamers>
- [18] Virtuální realita. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2016 [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Virtu%C3%A1ln%C3%AD_realita
- [19] PETŘÍK, Jaroslav. Vzhůru do jiných světů aneb jak funguje virtuální realita? In: *Doupe.cz – Počítačové hry, recenze a novinky* [online]. [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://doupe.zive.cz/clanek/vzhuru-do-jinych-svetu-aneb-jak-funguje-virtualni-realita>
- [20] ŠANTRŮČEK, Pavel. Virtuální realita a požadavky na grafické karty. In: *Svět hardware* [online]. 2015 [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/recenze-virtualni-realita-a-pozadavky-na-graficke-karty/41502>
- [21] Fovea centralis. In: *Velký lékařský slovník* [online]. [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://lekarske.slovniky.cz/pojem/fovea-centralis>
- [22] Mýty a pravdy o 3D. In: *PROJEKTORDOMA.CZ - Domů* [online]. [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://www.projektordoma.cz/faq/view/13>
- [23] ŠANTRŮČEK, Pavel. Virtuální realita a požadavky na grafické karty - Snímková frekvence. In: *Svět hardware* [online]. 2015 [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/recenze-virtualni-realita-a-pozadavky-na-graficke-karty/41502-2>
- [24] ŠANTRŮČEK, Pavel. Virtuální realita a požadavky na grafické karty - Výkon grafických karet. In: *Svět hardware* [online]. 2015 [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/recenze-virtualni-realita-a-pozadavky-na-graficke-karty/41502-3>
- [25] Fillrate. In: *IT Slovník - počítačový slovník* [online]. [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://it-slovník.cz/pojem/fillrate>

- [26] ŠANTRŮČEK, Pavel. Virtuální realita a požadavky na grafické karty - Boj o nízké latence. In: *Svět hardware* [online]. 2015 [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/recenze-virtualni-realita-a-pozadavky-na-graficke-karty/41502-4>
- [27] HOLLY, Russell. Howsmartphone-based VR works. In: *Android Central* [online]. 2015 [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://www.androidcentral.com/how-smartphone-based-vr-works>
- [28] MUNDY, Jon. How to turnyoursmartphoneinto a VR headset. In: *TrustedReviews - The Latest Technology News and Reviews* [online]. 2016 [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://www.trustedreviews.com/how-tos/how-to-turn-your-phone-into-a-vr-headset>
- [29] DOLEJŠ, Jan. Aplikace VRidge: Virtuální realita z Oculus Rift do mobilního telefonu. In: Svět Androida - Recenze, novinky, denní zpravodajství ze světa open source operačního systému Android od společnosti Google pro chytré mobilní telefony [online]. 2016 [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <https://www.svetandroida.cz/aplikace-vridge-virtualni-realita-oculus-rift-mobilniho-telefonu-201605>
- [30] YUSUF, Bulent. 20 Best 3D Printers in Fall 2016 – BuyingGuide&Reviews. In: *All3DP | 3D PrintingMagazine* [online]. 2016 [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <https://all3dp.com/best-3d-printer/>
- [31] TechSpecs. *High-resolution 3D printing on the desktop* [online]. [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <https://formlabs.com/3d-printers/tech-specs/>
- [32] Ultimaker 2+ Specifications. *Ultimaker* [online]. Netherlands [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-2-plus/specifications>
- [33] BCN3D Sigma. *Home - BCN3D Technologies* [online]. Barcelona [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <https://www.bcn3dtechnologies.com/en/catalog/bcn3d-sigma/>
- [34] Original Prusa i3 MK2 kit. *Prusa research, official Josef Prusa shop* [online]. Praha [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <http://shop.prusa3d.com/en/3d-printers/59-original-prusa-i3mk2kit.html>
- [35] *3D TISKÁRNA ORIGINAL PRUSA I3 MK2* [online]. Praha [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <http://www.prusa3d.cz/?gclid=Ci7ezumBsNACFUS4GwodgwsMMw>
- [36] *ULTIMAKER 2+* [online]. Praha [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <http://3dwiser.com/3d-tiskarny/fdm/ultimaker-2-plus/#specs>
- [37] 3D tiskárna Original Prusa i3 MK2. *Vše pro 3D tisk* [online]. Mělník [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <https://www.vsepro3dtisk.cz/p/3d-tiskarna-original-prusa-i3-mk2?gclid=CLKdvbmDsNACFasK0wodxy0D1A>
- [38] BCN3D Sigma. In: *Designbox3d* [online]. [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <http://designbox3d.com/products/bcn3d-sigma>
- [39] 3DTV SystemRequirements. In: *VisualComputingLeadershipfrom NVIDIA* [online]. [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://www.nvidia.com/object/3dtv-play-system-requirements.html>

- [40] DEV, Akhil. 8 Best 3D Gaming Monitors for Heavy Duty Gamers 2016. In: *HubPages* [online]. 2016 [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://hubpages.com/technology/Top-5-3D-Gaming-Monitors-for-Heavy-Duty-Gamers>
- [41] Specifikace monitoru LCD s technologií NVIDIA G-SYNC™ 272G5DYEB/00 | Philips. In: *Philips - Česká republika* [online]. [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: http://www.philips.cz/c-p/272G5DYEB_00/brilliance-monitor-lcd-s-technologie-nvidia-g-synctm/specifications
- [42] *Philips Brilliance Monitor LCD s technologií NVIDIA G-SYNC™* [online]. 2016 [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: https://www.download.p4c.philips.com/files/2/272g5dyeb_00/272g5dyeb_00_pss_cescz.pdf
- [43] VG248QE. In: *ASUS Česká republika* [online]. [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <https://www.asus.com/Monitors/VG248QE/overview/>
- [44] VG278HE. In: *ASUS Česká republika* [online]. [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <https://www.asus.com/Monitors/VG278HE/>
- [45] SPEC COMPARISON: DOES THE RIFT'S TOUCH UPDATE MAKE IT A TRUE VIVE COMPETITOR? In: *Digital Trends | Technology News and Product Reviews* [online]. 2016 [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://www.digitaltrends.com/virtual-reality/oculus-rift-vs-htc-vive/>
- [46] HTC Vive. In: *ObchodyPraze.cz* [online]. 2016 [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://www.obchodypraze.cz/HTC-Vive-d50940.htm>
- [47] Samsung Gear VR. In: *Alza.cz - největší obchod s počítači a elektronikou* [online]. [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/gaming/samsung-gear-vr?dq=4399496&o=1>
- [48] LAMKIN, Paul. *Thebestsmartphoneheadsetsfor VR apps* [online]. 2016 [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <http://www.wareable.com/vr/best-smartphone-headsets-mobile-vr-apps-1655>
- [49] *GLIDE VR INSTRUCTION MANUAL* [online]. In: . London, 10, 13, 15 [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <https://www.freeflyvr.com/wp-content/uploads/2016/01/glide-international-manual.pdf>
- [50] *VR ONE PLUS* [online]. [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <http://zeissvrone.tumblr.com/#we-are-one>
- [51] Samsung Gear VR. In: *Mobilní Telefony, TV, domácí spotřebiče | Samsung CZ* [online]. [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <http://www.samsung.com/global/galaxy/gear-vr/>
- [52] OSCILLADA, Marco. Comparison Chart of FOV (FieldofView) of VR Headsets. In: *VR Times* [online]. [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <http://www.virtualrealitytimes.com/2015/05/24/chart-fov-field-of-view-vr-headsets/>
- [53] DOYIJODE, Rajesh. Howdoesthe magnet selectbuttonfor Android Cardboardwork? In: *Quora* [online]. [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <https://www.quora.com/How-does-the-magnet-select-button-for-Android-Cardboard-work>
- [54] Custom Licensing. In: *Unreal Engine Technology* [online]. [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <https://www.unrealengine.com/custom-licensing>

- [55] *Hardware & Software Specifications* [online]. [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <https://docs.unrealengine.com/latest/INT/GettingStarted/RecommendedSpecifications/index.html>
- [56] *What 3D File formats does UE4 accept?* [online]. [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <https://answers.unrealengine.com/questions/22006/what-3d-file-formats-does-ue4-accept.html>
- [57] *SystemRequirementsfor Unity 5.4*. In: *Unity - Game Engine* [online]. [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <https://unity3d.com/unity/system-requirements>
- [58] *VR overview*. In: *Unity - Engine game* [online]. [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <https://unity3d.com/learn/tutorials/topics/virtual-reality/vr-overview?playlist=22946>
- [59] *VR overview* [online]. [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <https://docs.unity3d.com/Manual/VROverview.html>
- [60] *Welcome to Unity. Unity - engine game* [online]. [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: https://store.unity.com/?_ga=1.39985834.966088000.1479134592
- [61] In: *Riftcat* [online]. [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: <https://riftcat.com/buy/vridge>
- [62] *VRidge*. In: *Google Play* [online]. [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.riftcat.vridge>
- [63] *RiftCat - Help Center*. In: *RiftCat* [online]. [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: <https://support.riftcat.com/hc/en-us>
- [64] *Intugame VR Premium*. In: *Google Play* [online]. [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.intugame.premiumvr&hl=en>
- [65] *Intugame VR Troubleshooting 101*. *Intugame* [online]. [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: <http://intugame.com/intugame-vr-troubleshooting-1-1/>
- [66] *Trinus VR*. In: *Google Play* [online]. [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.loxai.trinus.full&hl=en>
- [67] *Requirments. TrinusVirtual Reality* [online]. [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: <https://www.trinusvirtualreality.com/#reqs>
- [68] <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/25372-marrow3-m-easy-to-use-3d-arrow>
- [69] *Quantum S BeeVR. BeeVRYour New Reality* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://www.beevr.cz/beevr-quantum-s/>

13 Seznam příloh

***Příloha I** Tabulka čtyř nejlepších 3D tiskáren za rok 2016 s uvedením důležitých informací.*

***Příloha II** Tabulka s minimálními systémovými požadavky pro Nvidia 3D kit.*

***Příloha III** Tabulka se třemi nejlepšími monitory za rok 2016 pro 3D stereoskopii.*

***Příloha IV** Tabulka s popisem parametrů brýlí pro virtuální realitu pro počítač.*

***Příloha V** Tabulka s nejlepšími brýlemi pro mobily za rok 2016 umožňujícími virtuální realitu v kombinaci s kompatibilním telefonem.*

***Příloha VI** Tabulka s popisem softwarů, pomocí kterých lze tvořit programy pro VR pro PC.*

***Příloha VII** Tabulka se třemi nejlepšími programy umožňujícími virtuální realitu za použití mobilu a popis jejich základních vlastností.*

***Příloha VIII** CD*

Příloha I

Tab. 1: Čtyři nejlepší 3D tiskárny za rok 2016 dle webu all3dp.com a popis základních společných parametrů [30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38]

	FormlabsForm 2	Ultimaker 2+	Prusa i3 MK2	BCN3D Sigma
Technologie	SLA	FDM	FDM	FDM
Výška vrstvy	0,025; 0,05 nebo 0,1 mm	0,02–0,6mm	od 0,05 mm	0,05–30 mm
Rozměry tiskárny	35 x 33 x 52 cm	34,2 x 49,3 x 68,8 cm	42 x 42 x 38 cm	46,5 x 44 x 68 cm
Tisknací rozměry	14,5 x 14,5 x 17,5 cm	35,7 x 34,2 x 48,8 cm	25 x 21 x 20 cm	21 x 29,7 x 21 cm
Rozhraní připojení	WiFi, Ethernet, USB	SD karta, USB	SD karta, USB	SD karta, USB
Materiály	Fotocitlivá pryskyřice	PLA, ABS, CPE, CPE+, PC, Nylon, TPU 95A	PLA, ABS, PET, HIPS, Flex PP, Ninjaflex, Laywood, Nylon, polykarbonát, ASA, T-Glase, Bamboofill, filamenty s uhlíkovým vláknem, Bronzefill	PLA, ABS, PET, HIPS, PVA, TPE
Více barev najednou	NE	NE	Pouze upgrade + 7490 Kč)	ANO (dvě)
Cena	106 967 Kč, 130 124 Kč	66 694–69 791 Kč	16 990 Kč, 26 990 Kč	62 010–74 584 Kč
Možnost koupě	formlabs.com, 3dwiser.com	amazon.com, amazon.co.uk, ultimaker.com	shop.prusa3d.com, vsepro3dtisk.cz, alza.cz	bcn3Dtechnologies.com, designbox3d.com, amazon.com
Hardware požadavky pro PC	Windows 7 / Max OS X 10.7 a vyšší 2 GB RAM	Windows XP, Mac OS X 10.6, Linux Ubuntu 12.10 a vyšší	-	Windows, Mac, Linux
Podporované formáty	stl, obj, form	stl, obj, amf, dae	stl, gcode	stl, obj, amf

Příloha II

Tab. 2: Minimální systémové požadavky pro Nvidia 3D kit [39]

Minimální systémové požadavky	
Operační systém	Windows Vista 32/64 bit nebo Windows 7 32/64 bit
Procesor	Intel Core 2 Duo nebo AMD Athlon X2 CPU nebo lepší
Paměť RAM	1GB, doporučeno 2GB
Místo na disku	100MB
Cena celého setu	4 097–4 950 Kč
Možnost koupě celého setu	ab-com.cz, amazon.co.uk, amazon.com
Cena pouze 3D brýlí od Nvidia	3 005–4 066 Kč
Možnost koupě	ab-com.cz, amazon.com, amazon.co.uk

Příloha III

Tab. 3: Základní parametry tří nejlepších monitorů pro 3D hraní za rok 2016 dle webu hubpages.com [40, 41, 42, 43, 44]

	Philips 272G5DYEB	Asus VG248QE	Asus VG278HE
Úhlopříčka	27"	24"	27"
Odezva	1 ms	1 ms	2 ms
Obnovovací frekvence	144 Hz	144 Hz	144 Hz
Rozlišení	Full HD	Full HD	Full HD
Konektory	DisplayPort 1.2, 4x USB 3.0	DisplayPort, HDMI, Dual-link DVI	HDMI 1.4, Dual-link DVI-D, D-Sub
Technologie G-Sync	Ano	Ano	Ne
Zabudované stereo	Ne	Ano	Ano
Cena	9 963–16 348 Kč	5 774–9 247 Kč	9 853–18 531 Kč
Možnosti koupě	heureka.cz, amazon.co.uk, alza.cz	heureka.cz, amazon.com, amazon.co.uk, alza.cz	heureka.cz, amazon.com, amazon.co.uk

Příloha IV

Tab. 4: Popis parametrů VR brýlí pro PC [45, 46]

	Oculus Rift	HTC Vive
Displej	OLED	OLED
Rozlišení	2160 × 1200	2160 × 1200
Snímací frekvence [Hz]	90	90
Platforma	OculusHome	SteamVR
Horizontální výhled	110°	110°
Zabudované audio	Ano	Ano
Zabudovaný mikrofon	Ano	Ano
Ovladač	OculusTouch, Xbox ovladač	Steam VR ovladač, jakýkoliv kompatibilní PC ovladač
Konektivita	HDMI, USB 2.0, USB 3.0	HDMI, USB 2.0, USB 3.0
Požadavky	NVIDIA GTX 970 / AMD Radeon 290 nebo lepší	NVIDIA GeForce GTX 970 / Radeon R9 290 nebo lepší
	Intel i5-4590 nebo lepší	Intel i5-4590 / AMD FX8350 nebo lepší
	8GB+ RAM	4GB+ RAM
	Kompatibilní s HDMI 1.3	Kompatibilní s HDMI 1.4
	2x USB 3.0	1x USB 2.0 nebo lepší
	Windows 7 nebo novější	Windows 7 nebo novější
Cena	16 399–19 999 Kč	24 198–26 999 Kč
Možnost koupě	amazon.co.uk, czc.cz, alza.cz, supergamer.cz	amazon.co.uk, czc.cz, alza.cz, obchodypraze.cz

Příloha V

Tab. 5: Nejlepší brýle pro VR určené k používání s mobily podle webu wereable.com za rok 2016 [47, 48, 49, 50, 51, 52, 53]

	Google Cardboard	Samsung Gear VR	Xiaomi Mi VR Play	Zeiss VR One Plus	Freefly	Mattel View- Master VR
Podporované telefony	S úhlopříčkou až 6"	Galaxy S7, S7 edge, Note5, S6 edge+, S6, S6 edge	S úhlopříčkou 4,7" až 5,7", bez ohledu na operační systém	S úhlopříčkou 4,7" až 5,5", bez ohledu na operační systém, kromě LG G4 a Sony Xperia Z5 Premium	S úhlopříčkou až 6" bez ohledu na operační systém	S úhlopříčkou až 6" bez ohledu na operační systém
Vlastní senzory	-	Gyroskop, akcelerometr, proximity	-	-	-	-
Přímé ovládání (bez dokupování jiných ovladačů)	Magnet: jako tlačítko výběru, pouze u některých modelů, umístěn zboku	Touchpad, tlačítko ovládání hlasitosti, tlačítko zpět a domů	-	-	Bluetooth ovladač s tlačítky: start/vypnout, joypad. Se znaky trojúhelníku, kruhu a křížku – již v ceně	-
Konektivita s mobilem	-	Micro USB k nabíjení, u novějších USB C	-	-	-	-
Pohodlné použití s brýlemi	Ne	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne
Popruh k uchycení na hlavu	Záleží na výrobci	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne
Horizontální výhled	90°	101°	75°	100°	120°	Nenalezeno
Cena	28–471 Kč	1 133–3 782 Kč	199–677 Kč	3 185–4 379 Kč	1 318–1 999 Kč	371–1 029 Kč
Možnost koupě	heureka.cz, amazon.com, amazon.co.uk alza.cz	heureka.cz, amazon.com, amazon.co.uk alza.cz	heureka.cz, amazon.com, alza.cz	heureka.cz, amazon.com, amazon.co.uk alza.cz	heureka.cz, amazon.com, amazon.co.uk alza.cz	heureka.cz, amazon.com, amazon.co.uk alza.cz

Příloha VI

Tab. 6: Dva nejznámější softwary pro tvorbu aplikací a programů jak pro počítače, tak pro mobily [54, 55, 56, 57, 58, 59, 60]

	Unity	UnrealEngine
Podporované formáty, se kterými pracují	.fbx, .dae, .3ds, .dxf a .obj	.fbx a .obj
Specificky podporované VR zařízení	-	HTC Vive, Oculus Rift, Playstation VR, Samsung Gear VR, Google VR/Daydream
Software, pro který lze tvořit	Windows XP a vyšší, MAC OS X 10.8 a vyšší, Ubuntu 12.04 a vyšší, SteamOS, Android 2.3.1 a vyšší, iOS 7.0 a vyšší	iOS, Android 5.0 a vyšší, MAC OS X, Xbox One, Playstation 4, Windows 4, Steam OS a HTML 5
Systém, na kterém lze tvořit	Windows 7 a vyšší, MAC OS X 10.9.4 a vyšší	Windows 7 a vyšší, MAC OS X 10.5 a vyšší, Linux
Minimální hardwarové požadavky	6 GB RAM a výše	8 GB RAM a výše, 16 GB RAM a výše pro Linux, 4 jádrový CPU, DX11 kompatibilní GPU pro Windows, Open G.L. kompatibilní GPU pro MAC OS X, NVIDIA GeForce 470 GTX GPU a vyšší pro Linux
Cena	Zdarma (osobní použití) – 3 354 Kč a výše (individuální ceník), na měsíc pro jedno zařízení	Zdarma pro osobní použití, 5% z výnosu prodeje při využívání volné licence nebo individuální ceník dle požadavků použití

Příloha VII

Tab. 7: Popis tří aplikací umožňujících virtuální realitu s mobilním telefonem [61, 62, 63, 64, 65, 66, 67]

	VRidge	TrinusVR	Intugame VR Premium
Podporované platformy	Android 5.0 a vyšší	Android 3.1 a výše, iOS 9.2 a výše	Android 4.4 a výše, iOS 7.0 a výše
Podpora různých brýlí	Ano	Ano	Ano
Konektivita	USB, Wi-fi	USB, Wi-fi	USB, Wi-fi
Doba aktivního využívání bezplatné verze	10 minut	60 minut	10 minut
Konverze nepřipravených titulů	Ne	Ano	Ne
Cena	405 Kč	240 Kč	283 Kč

Příloha VIII CD

Příložené CD obsahuje:

- soubor s názvem *Funkce*, ve kterém se nacházejí všechny funkce, ze které je aplikace *VKG_Zobrazovac* složena
- komentář a hodnocení MUDr. Františka Jurka zvolené 3D vizualizace a tématu bakalářské práce
- soubor s názvem *TrinusVR*, kde se nachází mobilní aplikace *Trinus VR Lite* a program pro PC *Trinus VR PC Server*
- Soubor s názvem *VKG_Zobrazovac* obsahující aplikaci *VKG_Zobrazovac*, použité logo a vzorová data, která mi byla poskytnuta doc. Ing. Markem Penhakerem, Ph.D.